

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**Studijní program: N2301 - Strojní inženýrství**

**Obor: 3909T010 - Inovační inženýrství**

**Zaměření: Inovace výrobku**

Katedra částí a mechanismů strojů

**Inovace stroje k nanášení těsnící hmoty na hliníková víčka výkonových  
kondenzátorů**

*Innovation of machine for application of sealing material on aluminium lids for  
power capacitors*

Jméno autora:

Bc. Martin Krejčí

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc., TU v Liberci

Konzultant diplomové práce:

Ing. Jaroslav Ščudla, Ph.D., HYDRA a.s.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 68

Počet obrázků: 59

Počet tabulek: 5

Počet příloh: 4

Datum: 24. května 2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	<b>Bc. Martin KREJČÍ</b>
Studijní program: Obor	<b>N2301 – Strojní inženýrství 3909T010 - Inovační inženýrství</b>
Zaměření	<b>Inovace výrobků</b>

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### **Inovace stroje k nanášení těsnící hmoty na hliníková víčka výkonových kondenzátorů**

#### **Zásady pro vypracování:**

Inovujte stávající jednoúčelové zařízení k nanášení těsnící hmoty na hliníková víčka výkonových kondenzátorů tak, aby těsnící hmota v tenké, rovnoměrné, dobře regulovatelné a opakovatelné vrstvě po celé ploše lemu víčka. Inovace zařízení musí být jednoduchá, levná se snadnou údržbou a obsluhou.

1. Představení úkolu (cíl, seznámení s firmou, výrobkem, stávajícím řešením)
2. Naplánování projektu. (harmonogram, inovační příležitosti, inovační prohlášení)
3. Průzkum potenciálních řešení.
4. Návrh pěti řešení, zhodnocení jednotlivých variant a výběr nejlepšího řešení.
5. Rozpracování konečné varianty (FMEA, DFX, konstrukce, výpočty, výkresy vybrané varianty)
6. Ekonomické zhodnocení
7. Závěrečné zhodnocení

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem  
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

Mašín, I. – Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*. IPI 2006  
Mašín, I.: *Inovační inženýrství*. Liberec TU 2012. ISBN:978-80-7372-852-6  
Mašín, I.: *Analýza procesů*. Liberec TU 2012. ISBN:978-80-7372-865-6  
Pešík, L.: *Části strojů. 1. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4  
Pešík, L.: *Části strojů. 2. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2  
Leinveber, J. – Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6  
Normy EU  
Databáze knihovny TUL

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jaroslav Ščudla, Ph.D., HYDRA a.s.**



prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry



Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 7.1.2013

---

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

# ANOTACE

## TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

### Fakulta strojní

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství  
Student: Bc. Martin Krejčí  
Téma práce: Inovace stroje k nanášení těsnicí hmoty na hliníková víčka výkonových kondenzátorů

Innovation of machine for application of sealing material on aluminium lids for power capacitors

#### **Abstrakt:**

Tato diplomová práce řeší inovaci stroje sloužícího k nanášení těsnicí hmoty na hliníková víčka kondenzátorů tak, aby nanesená těsnicí hmota splnila podmínky v používané aplikaci. Současná funkce stroje je pro požadovanou aplikaci nevhodná. Inovace stroje by měla splnit požadované podmínky a neměla by být finančně náročná.

Klíčová slova: Kondenzátor, nanášecí stroj, těsnění, těsnicí hmota, hliníková víčka.

#### **Abstract:**

This thesis deals with machine innovation for the application of sealing material on aluminium lids of capacitors. This sealing material must withstand heavy conditions when in application. A current function of the machine is not suitable for required application. This machine innovation should fulfill all required conditions and should not be expensive.

Keywords: capacitor, machine for application of sealing material, sealing, sealing material, aluminium lids.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 24.5.2013

.....

## Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1. CÍL PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
<b>2. PŘEDSTAVENÍ ÚKOLU .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 SEZNÁMENÍ S FIRMOU .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 SEZNÁMENÍ S VÝROBKEM .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ NANÁŠECÍHO STROJE.....</b>	<b>13</b>
2.3.1 SCHEMATICKE ZNÁZORNĚNÍ PŮVODNÍHO STAVU NANÁŠECÍHO STROJE.....	13
2.3.2 FOTO VYBRANÝCH ČÁSTÍ.....	14
2.3.3 PŮVODNÍ STAV NANESENÉ HMOTY.....	16
2.3.4 PROBLÉMY A NEDOSTATKY PŮVODNÍHO STAVU STROJE .....	17
<b>3. PLÁNOVÁNÍ PROJEKTU .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 HARMONOGRAM .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 INOVAČNÍ PROHLÁŠENÍ.....</b>	<b>18</b>
<b>4. PRŮZKUM POTENCIÁLNÍCH ŘEŠENÍ .....</b>	<b>19</b>
<b>5. VARIANTY ŘEŠENÍ.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ .....</b>	<b>20</b>
5.1.1 VARIANTA Č. 1 .....	20
5.1.2 VARIANTA Č. 2 .....	23
5.1.3 VARIANTA Č. 3 .....	26
5.1.4 VARIANTA Č. 4 .....	28
5.1.5 VARIANTA Č. 5 .....	30
<b>5.2 KRITÉRIA HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT .....</b>	<b>31</b>
5.2.1 POPIS KRITÉRIÍ VE VZTAHU K JEDNOTLIVÝM VARIANTÁM .....	32
<b>5.3 DETAILNÍ HODNOCENÍ – VÝBĚR VÍTĚZNÉ VARIANTY .....</b>	<b>34</b>
<b>6. ROZPRACOVÁNÍ VÍTĚZNÉ VARIANTY .....</b>	<b>35</b>
<b>6.1 DFX.....</b>	<b>36</b>
6.1.1 STAV PŘED APLIKACÍ DFMT .....	36
6.1.2 STAV PO APLIKACI DFMT .....	37
<b>6.2 KONTROLA TLAKOVÉ NÁDOBY - FEM ANALÝZA .....</b>	<b>38</b>
6.2.1 KONTROLA KRITICKÉ ČÁSTI NÁDOBY .....	39
6.2.2 KONTROLA PEVNOSTI ŠROUBŮ TLAKOVÉ NÁDOBY .....	41
<b>6.3 STAVBA FUNKČNÍHO PROTOTYPU .....</b>	<b>43</b>
6.3.1 UPRAVENÝ ROTAČNÍ MECHANISMUS .....	43
6.3.2 UPRAVENÁ NANÁŠECÍ TRYSKA.....	44
6.3.3 UPRAVENÉ ŘÍZENÍ STROJE .....	45
<b>6.4 ZPŮSOB HODNOCENÍ KVALITY NANESENÉ VRSTVY .....</b>	<b>46</b>
6.4.1 VÝSLEDEK HELIOVÉHO TESTU PŘED ÚPRAVOU STROJE .....	47
6.4.2 VÝSLEDEK HELIOVÉHO TESTU PO ÚPRAVĚ STROJE .....	48
<b>6.5 OPTIMALIZACE TLOUŠTKY NANESENÉ VRSTVY .....</b>	<b>50</b>
<b>6.6 UZÁVĚR VÍČKA S POUZDREM.....</b>	<b>53</b>



---

<b>6.7</b>	<b>FINÁLNÍ PODOBA NANÁŠECÍHO STROJE .....</b>	<b>54</b>
6.7.1	KONTROLA PÍSTNICE PO PŘIDÁNÍ OCHRANNÉHO KRYTU .....	56
<b>6.8</b>	<b>FMEA .....</b>	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>60</b>
7.1	FÁZE PROTOTYPU .....	60
7.2	FÁZE FINÁLNÍHO STROJE .....	61
7.3	ÚSPORA NENESENÉ HMOTY .....	61
<b>8.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>63</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>66</b>



## Seznam použitých zkratk a symbolů

TUL		Technická univerzita v Liberci
DFX		Design for X (návrh s ohledem na určitou vlastnost)
DFA		Design for Assembly (návrh s ohledem na snadnou montáž)
DFMT		Design for Maintenance (návrh s ohledem na snadnou údržbu)
MKP		Metoda konečných prvků
FMEA		Faiture Mode and Effect Analysis (analýza vzniku vad a jejich následků)
FEM		Finite element method (metoda konečných prvků)
PU	[-]	prostá hodnota
VU	[-]	vážená hodnota
$M_u$	[Nm]	utahovací moment
$M_{pu}$	[Nm]	odporový třecí moment mezi hlavou šroubu a podložkou
$M_{zu}$	[Nm]	odporový moment tření závitu při montáži
p	[MPa]	tlak
F	[N]	síla
S	[m <sup>2</sup> ]	plocha
$F_1$	[N]	síla působící na jeden šroub
$F_Q$	[N]	síla předpětí ve šroubu
$d_2$	[mm]	střední průměr šroubu
$\gamma$	[°]	úhel stoupání závitu
$\varphi_z$	[°]	třecí úhel
$P_h$	[mm]	stoupání závitu
$f_z$	[-]	tření v závitu
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$F_{t\max}$	[N]	maximální tahová síla působící na jeden šroub
$d_3$	[mm]	nejmenší průřez šroubu
v	[m.s <sup>-1</sup> ]	střední rychlost pístu
s	[mm]	délka pístnice





$a$	$[m.s^{-2}]$	zrychlení pístnice
$F_{zv}$	[N]	síla potřebná pro zvednutí mechanismu
$m_{pm}$	[kg]	hmotnost zvedaných částí
$\eta_v$	[-]	součinitel tření ve vedení mechanismu
$g$	$[m.s^{-2}]$	gravitační zrychlení
PA		polyamid
Al		hliník
€		euro
Kč		koruna

# Úvod

## 1. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je inovace stávajícího zařízení, případně navrhnout zcela jiný princip jednoúčelového zařízení sloužícího k nanášení těsnící hmoty na hliníková víčka výkonových kondenzátorů o průměrech 50 mm až 136 mm.

Důvodem inovace je zvýšení nároků na těsnost kondenzátoru a tedy minimalizace netěsnosti kondenzátorů vlivem špatně nanesené těsnící hmoty. Hlavním cílem této práce je inovovat stroj tak, aby víčka s nanesenou hmotou pomocí tohoto stroje splnila podmínky při héliovém testu. Naměřené hodnoty se musí pohybovat pod hranicí těsnosti kondenzátoru (konkrétní hodnota hranice těsnosti není v této práci uvedena, aby nedošlo k prozrazení firemního „know-how“). Výrobní kapacita musí být minimálně 200 ks za osmihodinovou směnu. Splnění cíle bude v této práci realizováno podle následujících bodů dle zadání diplomové práce.

Jako první bude v této práci kapitola představení úkolu. Zde bude stručné seznámení se společností, ve které je tato diplomová práce realizována, seznámení s finálním produktem společnosti a analýza současného stavu stroje, který bude v této práci inovován. Dalším bodem této práce bude naplánování projektu, které proběhne před jeho zahájením a bude provázet celý projekt, aby byly dodrženy požadované termíny. V dalším bodě bude proveden průzkum potenciálních řešení. Zde bude důležité analyzovat možné principy a známá řešení obdobných problémů.

Po výše uvedených krocích bude navrženo 5 technických variant řešení, jejich zhodnocení a následný výběr nejlepšího řešení dle rozhodovacích kritérií. V dalším kroku následuje rozpracování vybraného nejlepšího řešení, návrh jeho konstrukce dle metod DFX, prověření konstrukce z hlediska pevnosti pomocí metody MKP, stavba funkčního prototypu, jeho následné ověření v praxi a finální návrh stroje, který bude splňovat podmínky pro obsluhu operátorem při nasazení v sériové výrobě. Bude vypracována FMEA, aby byl již ve fázi návrhu zajištěn spolehlivý průběh samotného procesu bez vzniku možných projevů a důsledků chyb. Dále bude následovat ekonomické zhodnocení tohoto řešení. Shrnutí zda se podařilo dodržet finanční rozpočet 1 600 €, což v době psaní diplomové práce odpovídá přibližně 40 000 Kč na inovaci



stroje a zda se podařilo zachovat, či ponížit současnou cenu za nanesení těsnící hmoty na jeden kus víčka.

V této práci není řešeno samotné lemování víka s pouzdrem, které má na těsnost kondenzátoru zásadní vliv. Lemování již bylo vyřešeno v předchozích projektech.

## 2. Představení úkolu

### 2.1 Seznámení s firmou

Hydra a.s. je výrobní společnost zabývající se výrobou motorových kondenzátorů s hliníkovým pouzdrem a přetlakovou pojistkou, motorových kondenzátorů v plastovém pouzdře, kondenzátorů pro zářivková svítidla s hliníkovým pouzdrem a přetlakovou pojistkou, kondenzátorů DC-link s hliníkovým pouzdrem, určené pro proudové měniče (např. pro větrné a solární elektrárny) a nízkonapětovými výkonovými kondenzátory pro kompenzaci jalové energie, které se týkají zadání tématu této diplomové práce. [1]

### 2.2 Seznámení s výrobkem

Jedná se o výkonové kondenzátory, které jsou používány pro kompenzaci jalového výkonu. Zde je důležitá těsnost kondenzátoru. Čím je kondenzátor těsnější, tím absorbuje méně vlhkosti, čímž se výrazně prodlužuje jeho životnost. Hlavní vliv na těsnost má tvar lemovaného spoje. Jako další a též podstatný vliv je správné nanesení těsnící hmoty, kterým se tato práce zabývá.

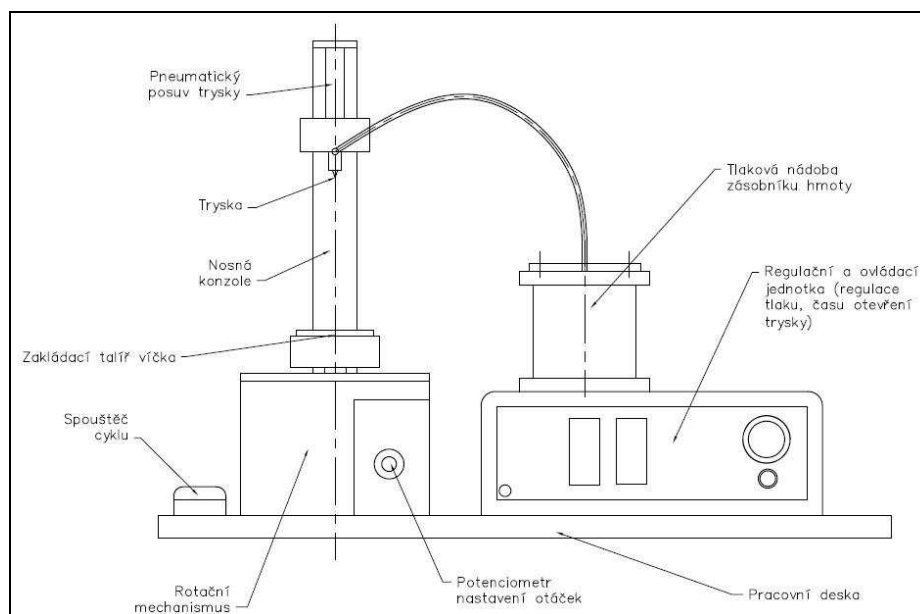


Obr. č. 1: Třífázový výkonový kondenzátor [1]

## 2.3 Stávající řešení nanášecího stroje

Stávající stav nanesené hmoty neobstojí požadavkům na zvýšenou těsnost kondenzátorů. Tím pádem neobstojí ani nanášecí stroj, který je třeba inovovat.

### 2.3.1 Schematické znázornění původního stavu nanášecího stroje



Obr. č. 2: Schéma původního stavu nanášecího stroje

Princip stroje spočívá v tom, že se na regulační jednotce (obr. č. 6) nastaví požadovaný tlak, který je poté v tlakové nádobě. Založí se víčko do zakládacího talíře, který je umístěn na rotačním mechanismu (obr. č. 3). Spustí se cyklus, víčko se roztočí, tryska sjede do spodní polohy (obr. č. 4), dojde k otevření trysky a nanesení těsnící hmoty. Tryska vyjede do původní polohy, rotační mechanismus se zastaví, víčko se odebere. Součásti jsou znázorněny na schématu stroje na obrázku č. 2.

### 2.3.2 Foto vybraných částí



Obr. č. 3: Původní rotační mechanismus

Maximální otáčky rotačního mechanismu jsou 32,1 ot. /min.



Obr. č. 4: Původní nanášecí tryska





Obr. č. 5: Původní rotační mechanismus – vnitřní uspořádání



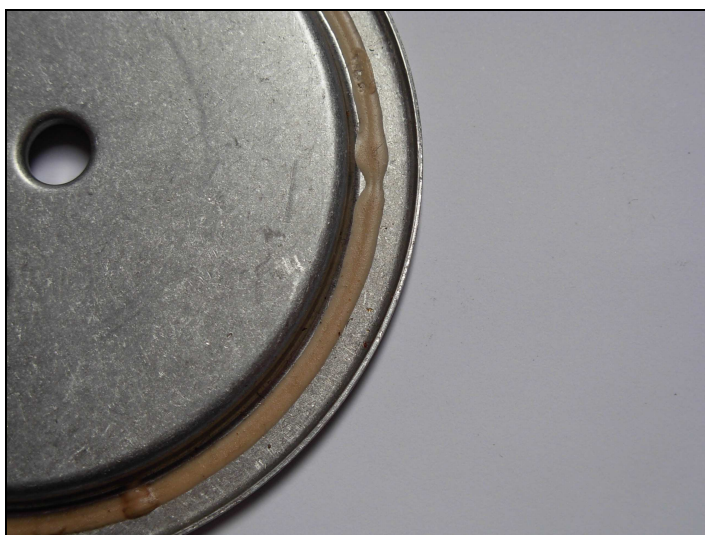
Obr. č. 6: Regulační jednotka

### 2.3.3 Původní stav nanesené hmoty

Původní stav nanesené hmoty nevyhovuje novým požadavkům na lepší těsnost kondenzátorů (obr. č. 7 a obr. č. 8).



Obr. č. 7: Původní stav nanesené hmoty



Obr. č. 8: Původní stav nanesené hmoty – detail



### 2.3.4 Problémy a nedostatky původního stavu stroje

Pogumované víčko musí po zalemování projít héliovým testerem pod hranicí těsnosti. Tato hranice je nově definována, proto je prováděna inovace stroje. Jak již bylo uvedeno, těsnost kondenzátoru má vliv na jeho životnost. Čím vyšší těsnost kondenzátoru, tím delší je jeho životnost. Současný stav požadovanou těsnost nesplňuje. Z uvedeného důvodu je třeba vypořádat se s těmito nedostatky při nanášení těsnící hmoty, které jsou viditelné na obrázcích č. 7 a č. 8:

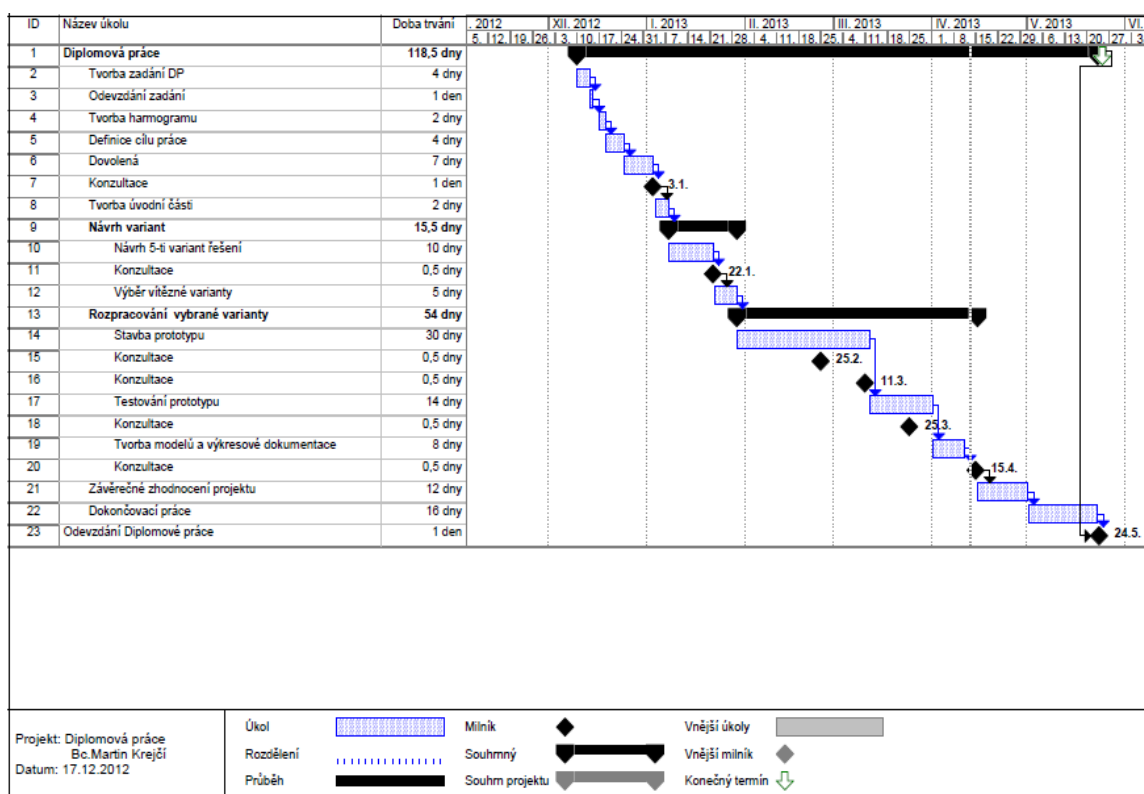
- Stroj nanáší hmotu v silné (v průřezu hmotou) a úzké vrstvě.
- Stroj nanáší hmotu pouze k vnitřnímu okraji lemu víčka.
- Vrstva je nepravidelně rozprostřena (povrch nanesené vrstvy není rovinný)
- Hmota se špatně rozlévá, proto se při současném stavu musí se ředit vodou v poměru 1:5, přičemž výrobce hmoty doporučuje maximální ředění do 10%.
- Při počátečním otevření trysky je vytvořena tlaková špička a hmota je v tomto okamžiku dávkována ve větším množství, což tvoří na víčku místo s viditelně větší vrstvou hmoty. Je třeba eliminovat vliv této tlakové špičky.
- Stroj musí být použitelný pro víčka od průměru 50 mm až po průměr 136mm.

Výše zmíněné nedostatky zformuloval autor této diplomové práce s předpokladem, že jejich zlepšením by mělo být dosaženo cíle dané práce.

## 3. Plánování projektu

### 3.1 Harmonogram

Diplomová práce byla plánována jako projekt, tedy činnost, která je jedinečná a provádí se jen jednou (cyklicky se neopakuje). Projektové plánování má v tomto případě zajistit splnění zadaného úkolu v řádném termínu. Harmonogram činností této práce je uveden na obrázku č. 9.



Obr. č. 9: Harmonogram činností

### 3.2 Inovační prohlášení

Cílem projektu je vytvořit stroj, který bude nanášet těsnící hmotu na víčka o průměrech od 50 mm do 136 mm v tenké, rovnoměrné, velmi dobře regulovatelné a opakovatelné vrstvě po celé ploše lemu víčka. Předpokládaná roční produkce je 40 000 ks pogumovaných víček. Cena investice do strojního vybavení by neměla překročit 1 600 € (40 000 Kč). Inovace bez prodloužení současného výrobního cyklu.



## 4. Průzkum potenciálních řešení

Průzkum potenciálních řešení byl proveden na základě průzkumu známých řešení, studia konkurenčních výrobků a korespondence s dodavateli zabývajícími se touto problematikou. Tento průzkum probíhal převážně pomocí internetu, e-mailu a telefonické komunikace. V úvahu reálně připadají tyto možnosti řešení.

- 1) **Inovace současného nanášecího stroje**, který je nyní pro nároky aplikace použití víčka nevhodný.
- 2) **Využití zcela jiného principu nanášení těsnící hmoty**. Využití jiného principu bude zřejmě obnášet větší finanční nároky.
- 3) **Nanášení hmoty specializovanou externí firmou**. Tato možnost byla analyzována. Byly poptány dvě české společnosti zabývající se nanášením těsnící hmoty v potravinářském průmyslu. S negativním výsledkem. Vzhledem ke specifickému tvaru víčka a malé roční produkci se nevyplatí přestavovat a upravovat stroje pro potravinový průmysl, kde se roční množství pogumovaných víček pohybuje v milionech.

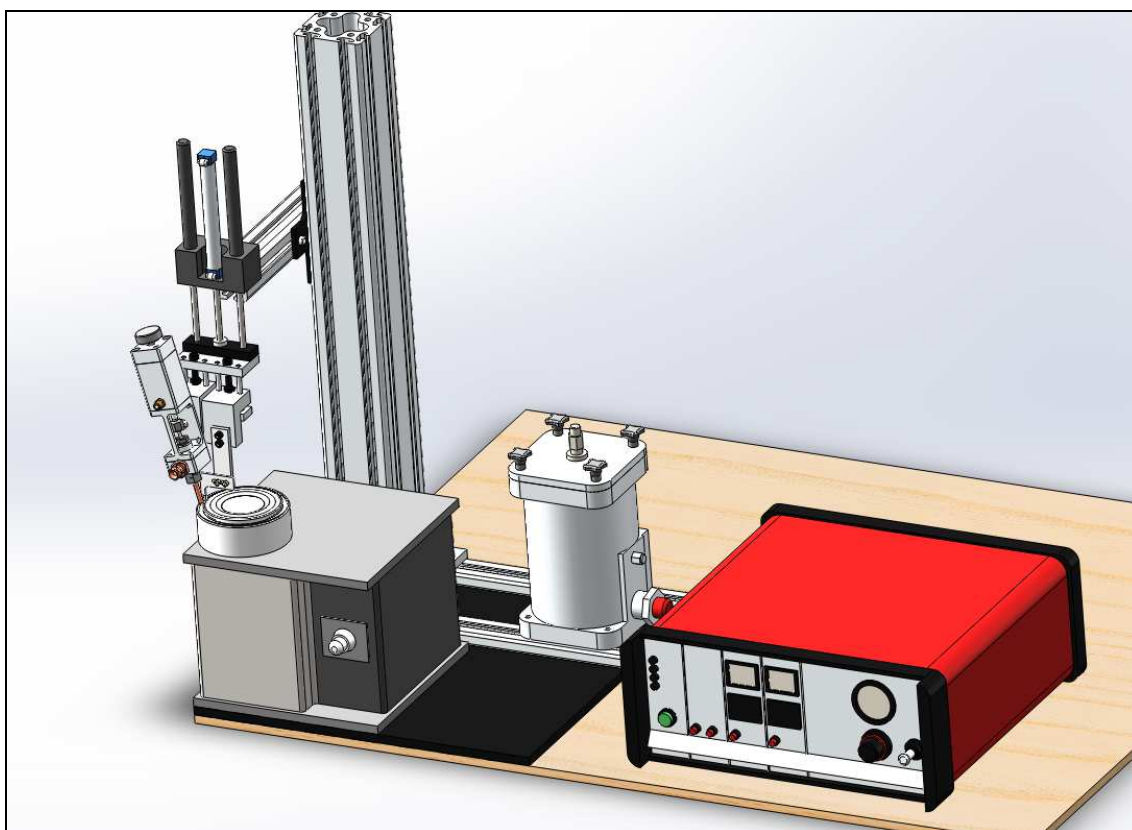
## 5. Varianty řešení

### 5.1 Návrh variant řešení

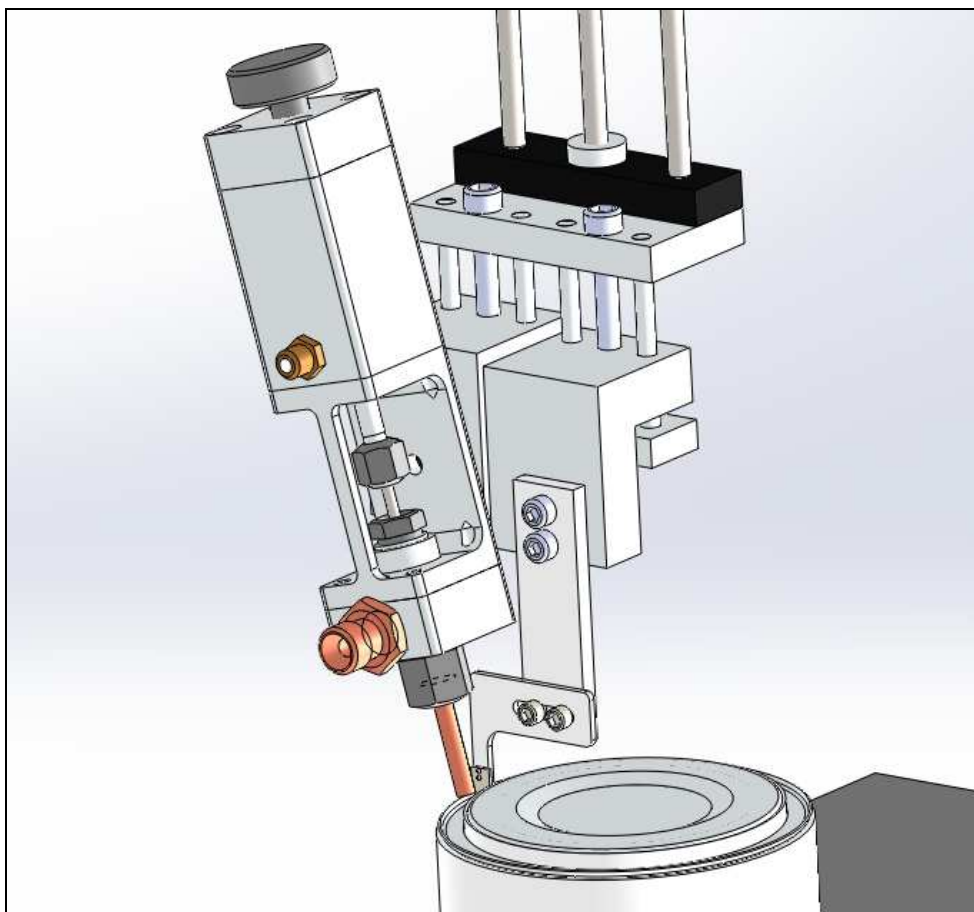
#### 5.1.1 Varianta č. 1

V této variantě (obr. č. 10) jsou zachovány téměř všechny komponenty současného stroje. Za nanášecí trysku (ve směru otáčení rotačního mechanismu) bude na pohybující se (směrem dolů) mechanismus nanášecí trysky (obr. č. 11) umístěna roztírací „planžeta“ (obr. č. 12).

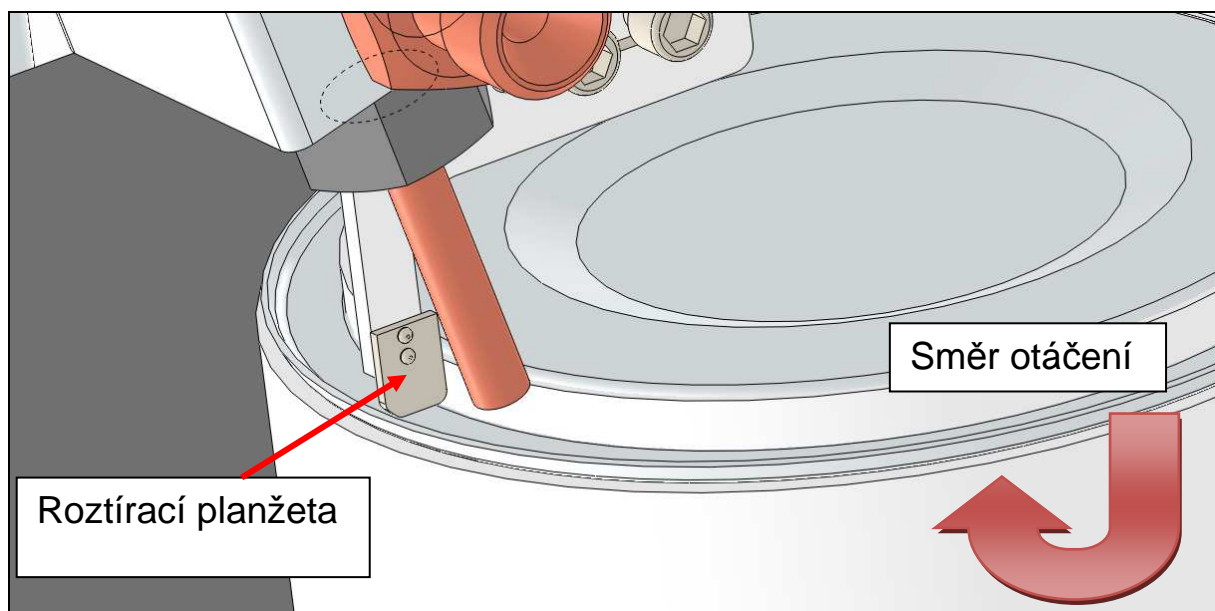
„Planžeta“ bude sloužit k rovnoměrnému roztírání těsnící hmoty a roztírání po celém povrchu žlábků víčka, aby bylo dosaženo rovnoměrné, stejně silné vrstvy.



Obr. č. 10: Varianta č. 1

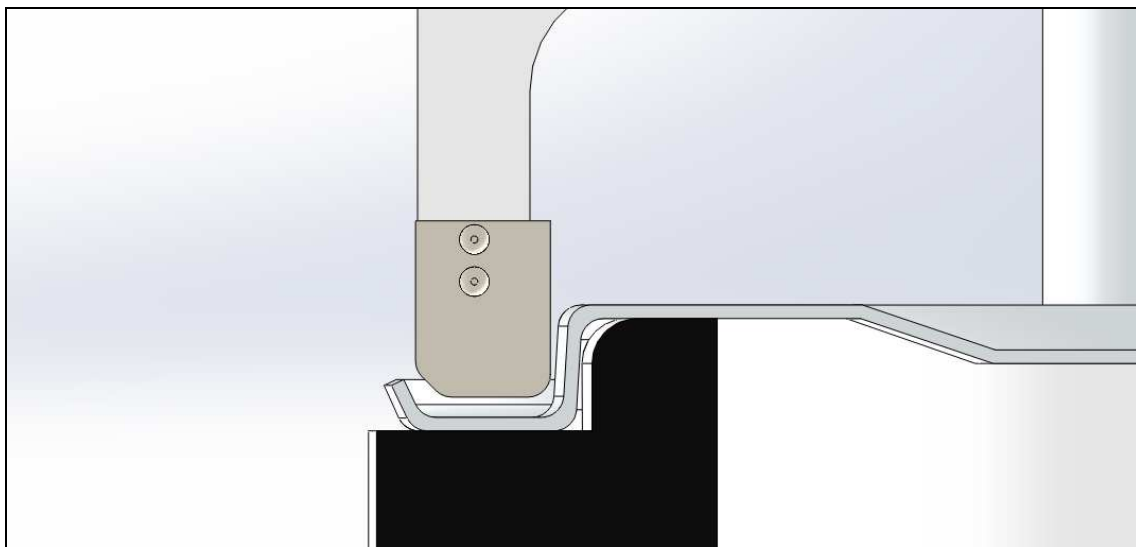


Obr. č. 11: Varianta č. 1 – nanášecí hlava



Obr. č. 12: Varianta č. 1 – roztírací planžeta

Jak je vidět na obrázku č. 12 vrstva je roztírána bezprostředně po nanesení tryskou ve směru otáčení. Tím by mělo být docíleno rovnoměrnější tloušťky nanesené vrstvy.

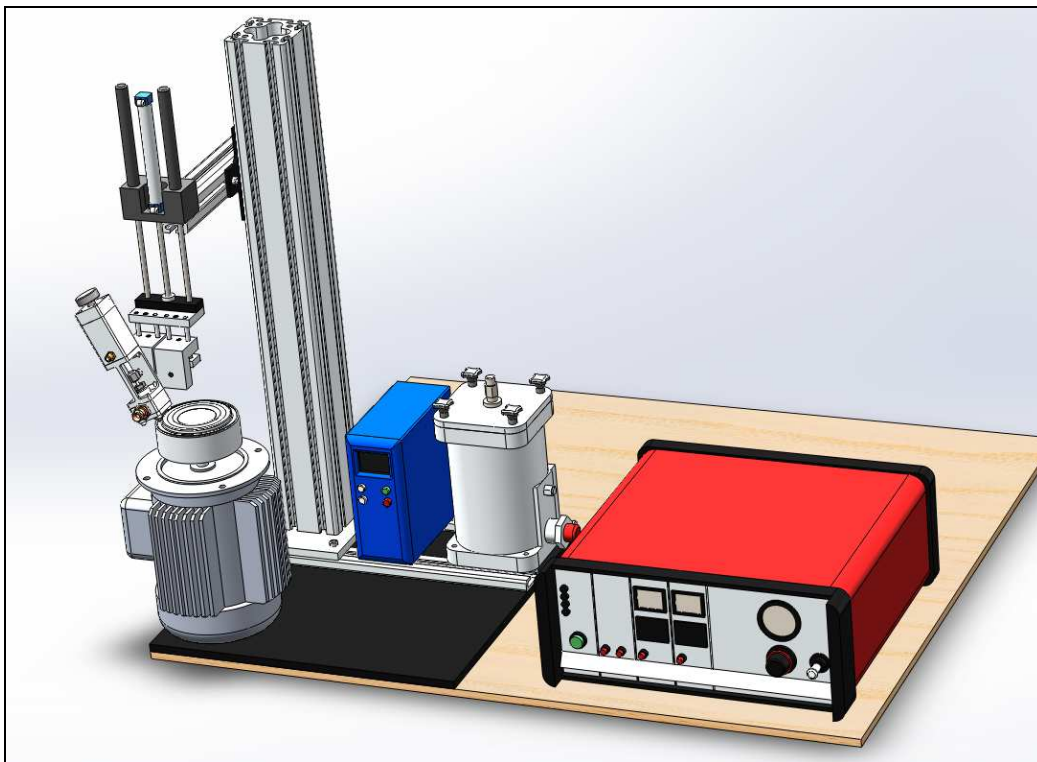


Obr. č. 13: Varianta č. 1 – nastavení planžety

Planžeta bude v přesně definované výšce nad víčkem (obr. č. 13), aby bylo při roztírání docíleno konstantní tloušťky nanesené vrstvy v každém jejím průřezu a lepšího rozprostření po celé ploše lemu víčka. Přesnou polohu lze nastavit pomocí aretačního šroubu.

### 5.1.2 Varianta č. 2

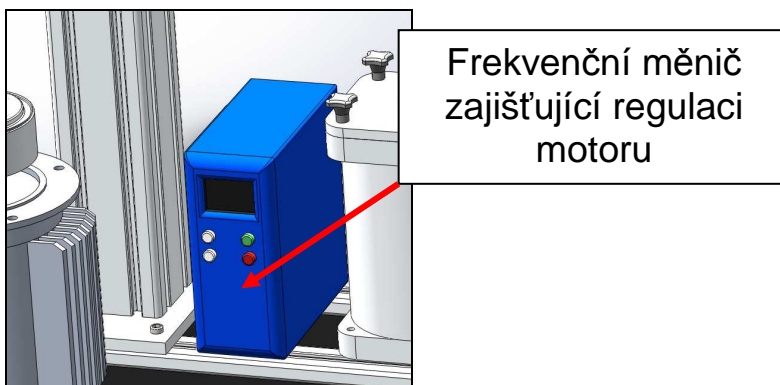
V této variantě jsou zachovány některé komponenty současného stroje. Je zde využito hlavně principu vyšší odstředivé síly (obr. č. 14).



Obr. č. 14: Varianta č. 2

V této variantě jsou provedeny tyto změny současného stroje:

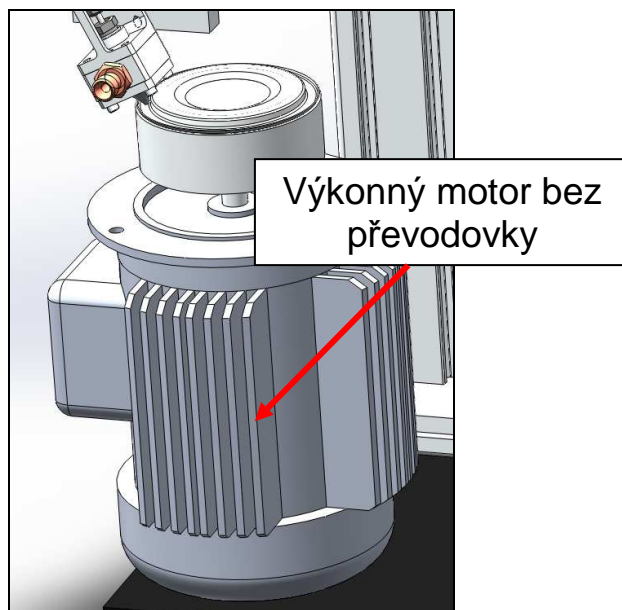
- 1) Změna řízení stroje. Řízení je upraveno tak, aby nanesení těsnící hmoty proběhlo na více než současnou jednu otáčku rotačního mechanismu a tím pádem bylo minimalizováno místo vlivu tlakové špičky při otevření trysky na začátku cyklu. To docílíme přidáním frekvenčního měniče (obr. č. 15) k novému rotačnímu mechanismu.



Obr. č. 15: Varianta č. 2 – frekvenční měnič

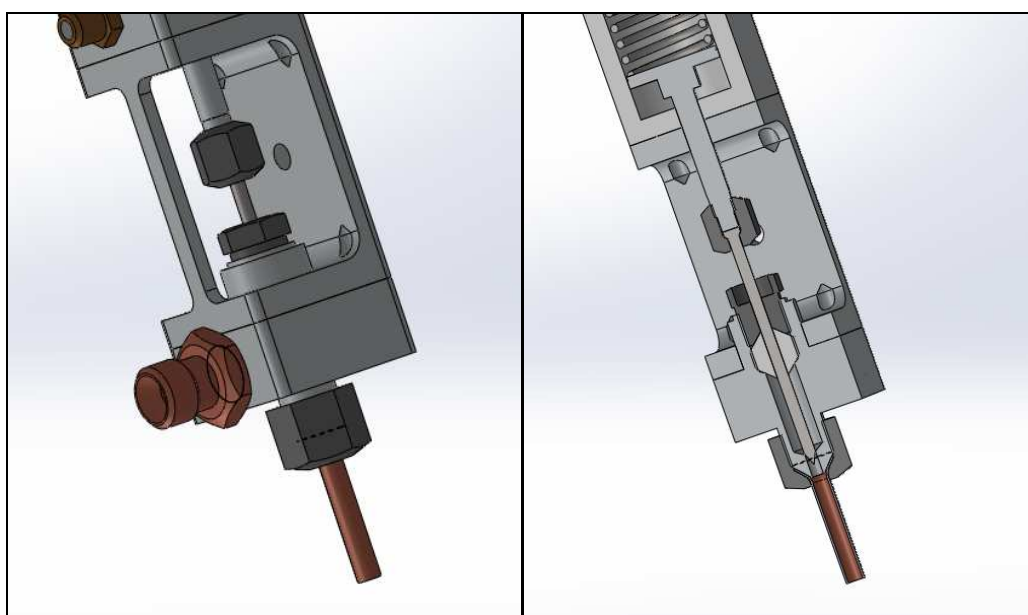


2) Změna rotačního mechanismu (obr. č. 16). A to tak, aby bylo dosaženo vyšší rychlosti, tím docíleno větší odstředivé síly a pomocí vyšší odstředivé síly docíleno lepšího rozlévání těsnící hmoty po celém okraji víčka.



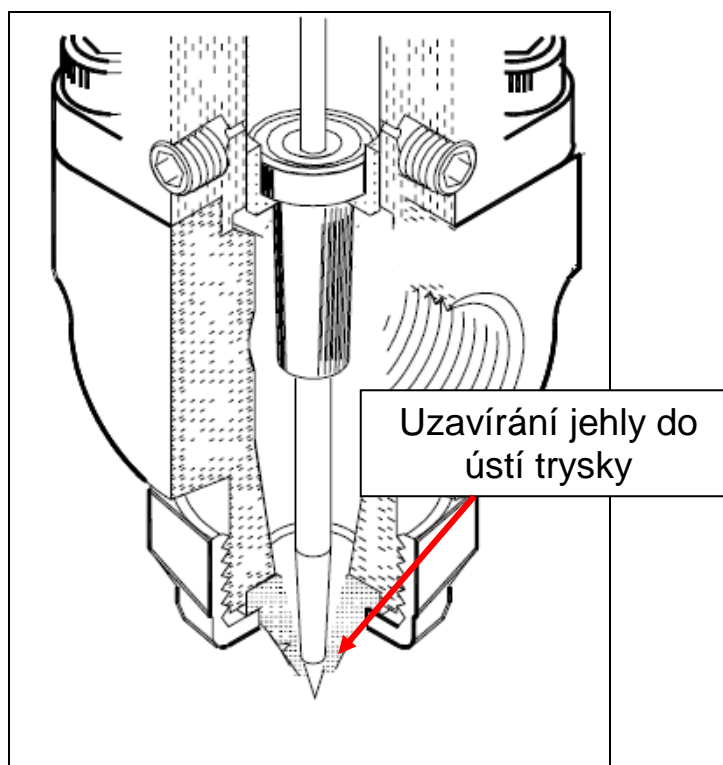
Obr. č. 16: Varianta č. 2 – výkonný elektromotor

3) Úprava trysky. Došlo k upravení konstrukce trysky tak, aby jehla byla uzavírána přímo do ústí trysky a tím bylo dosaženo co nejpřesnějšího dávkování těsnící hmoty. Jehla je zabroušená přímo do trysky (obr. č. 18).



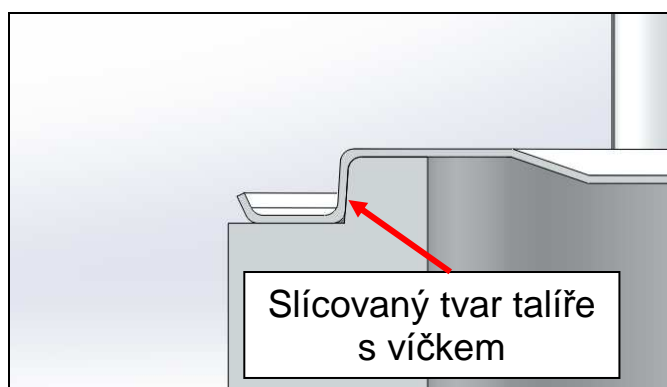
Obr. č. 17: Varianta č. 2 - Původní stav trysky





Obr. č. 18: Varianta č. 2 - Uzávěr trysky přímo do tvaru [2]

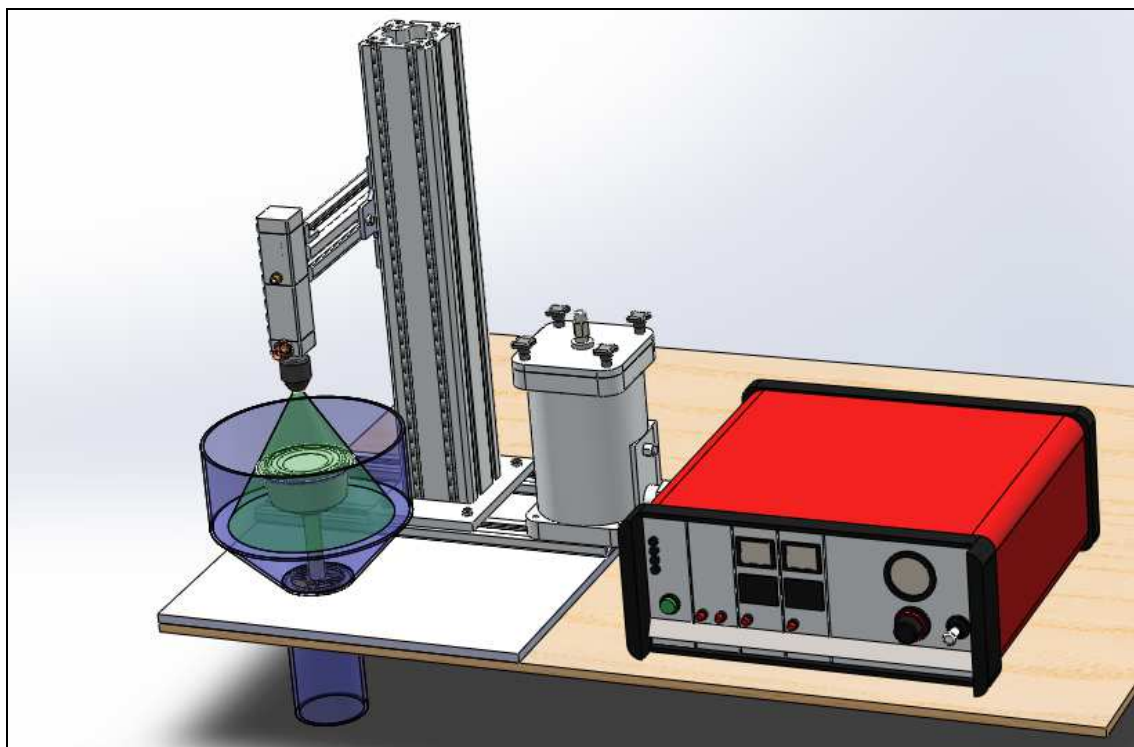
4) Úprava zakládacího talíře. Talíř je upraven tak, aby bylo víčko přesně vystředěné a přesně pasující na zakládací talíř (obr. č. 19). To je nezbytné při zvýšení otoček rotačního mechanismu a pro zajištění konstantního rozprostření nanášené hmoty.



Obr. č. 19: Varianta č. 2 - upravený zakládací talíř

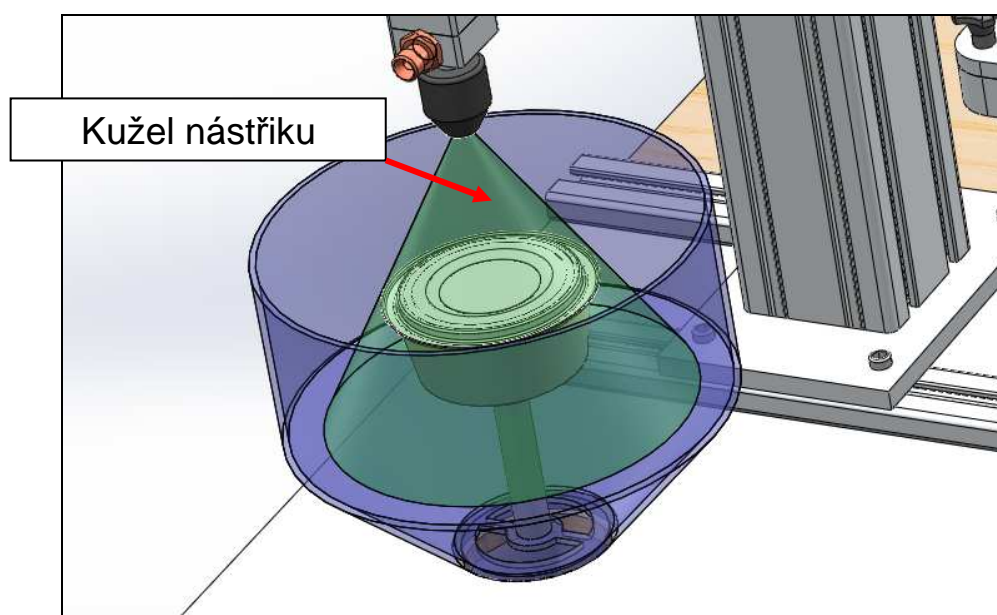
### 5.1.3 Varianta č. 3

V této variantě je využit zcela jiný princip. Princip spočívá v nástřiku celého víčka ze spodní strany těsnící hmotou. Zde dojde k nastříkání celého víčka, což nemá v používané aplikaci žádný negativní význam (obr. č. 20).

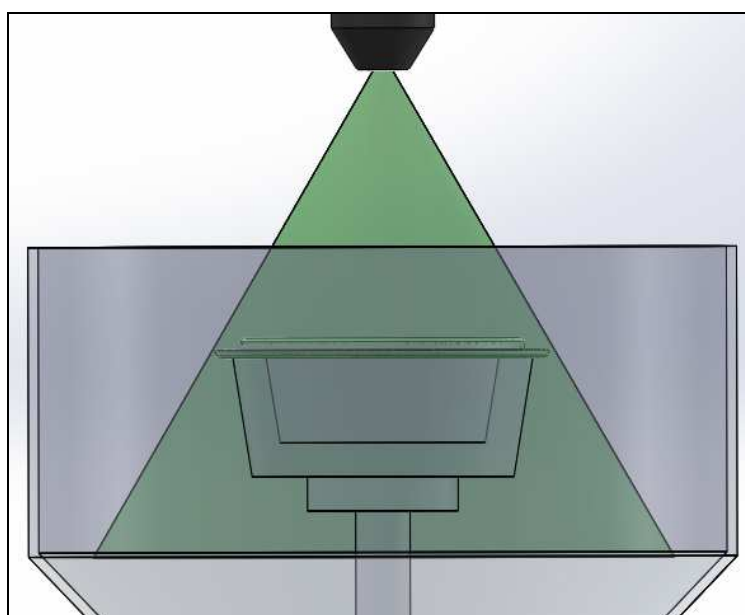


Obr. č. 20: Varianta č. 3

Nevýhoda spočívá ve velké spotřebě těsnící hmoty a značném znečištění okolních komponent.



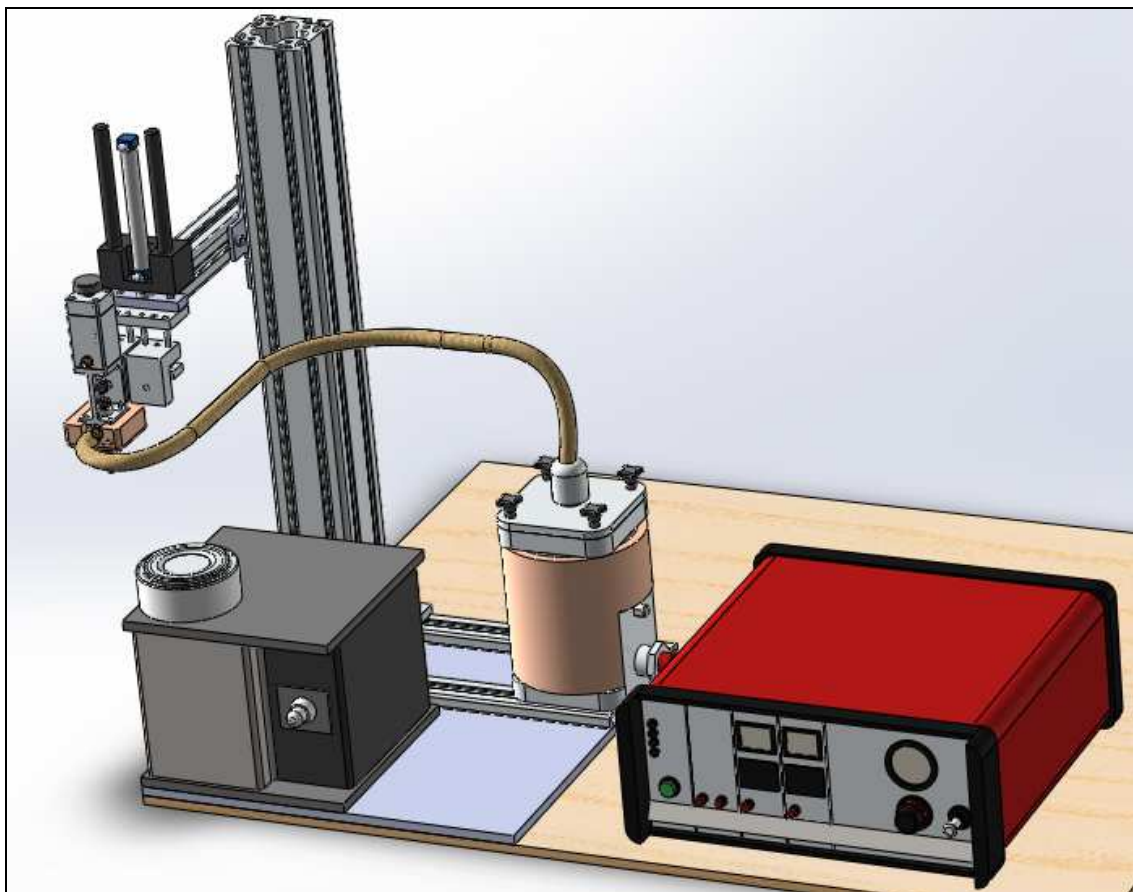
Obr. č. 21: Varianta č. 3 – detail nástřiku



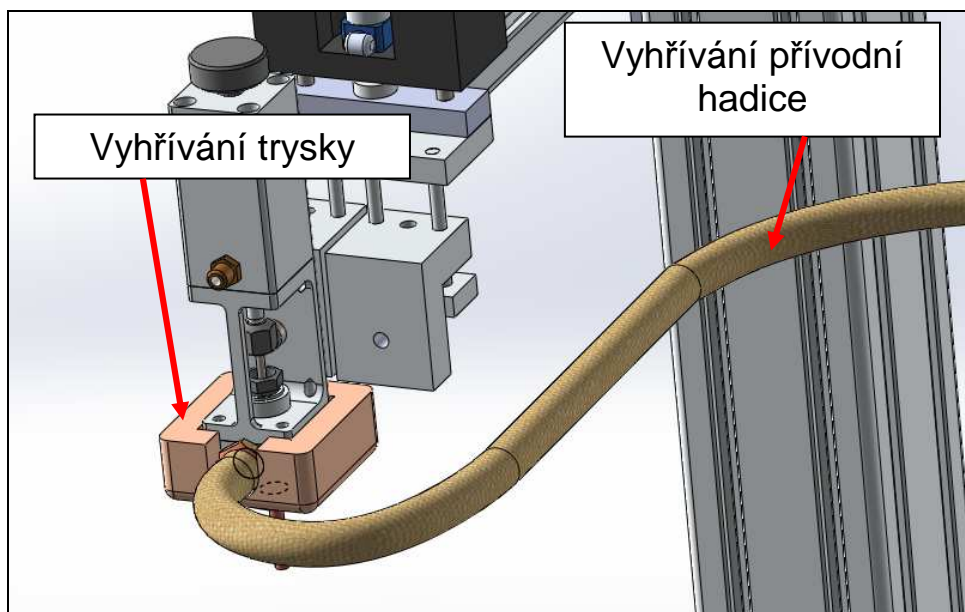
Obr. č. 22: Varianta č. 3 – geometrie kůželu nástřiku

#### 5.1.4 Varianta č. 4

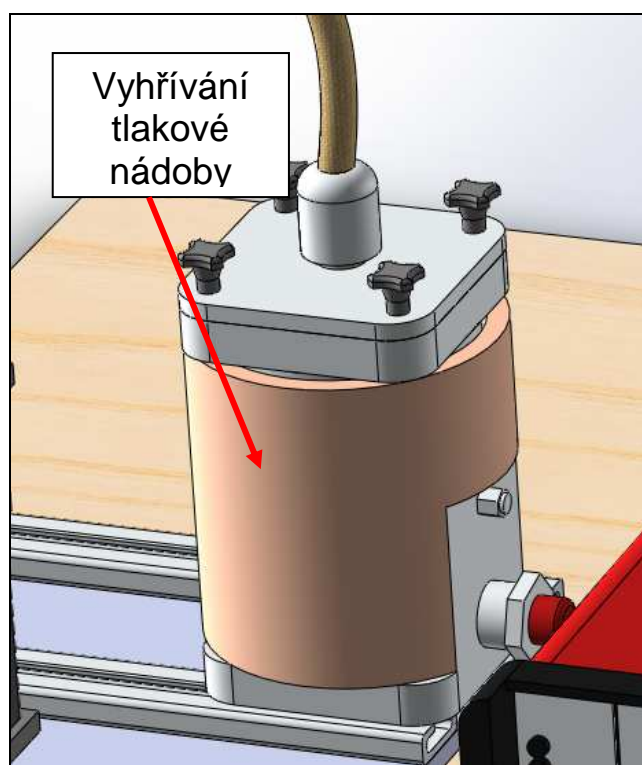
V této variantě se využívá snížení viskozity těsnící hmoty při nanášení a docílení lepšího rozlévání hmoty přidáním vyhřívání trysky (obr. č. 24), celého vedení a tlakové nádoby těsnící hmoty (obr. č. 25). Viskozita hmoty je závislá na teplotě. Těsnící hmota sítuje pomocí vzdušné vlhkosti. Je zde zachována většina původních dílů inovovaného stroje (obr. č. 23).



Obr. č. 23: Varianta č. 4



Obr. č. 24: Varianta č. 4 – detail vyhřívání trysky

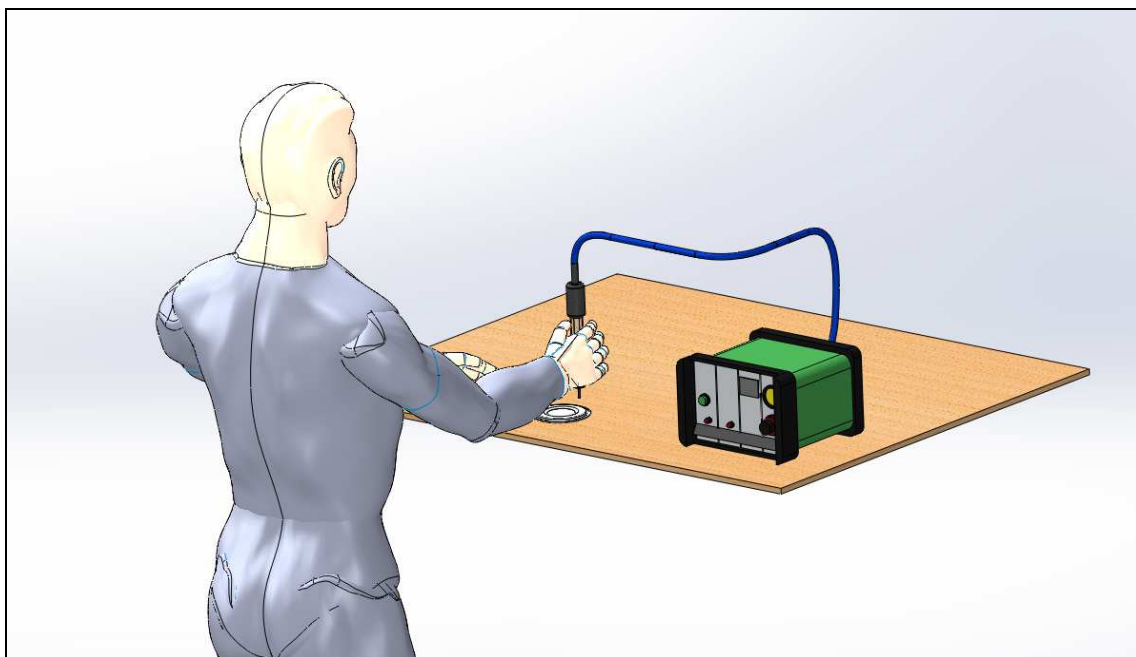


Obr. č. 25: Varianta č. 4 – vyhřívání tlakové nádoby

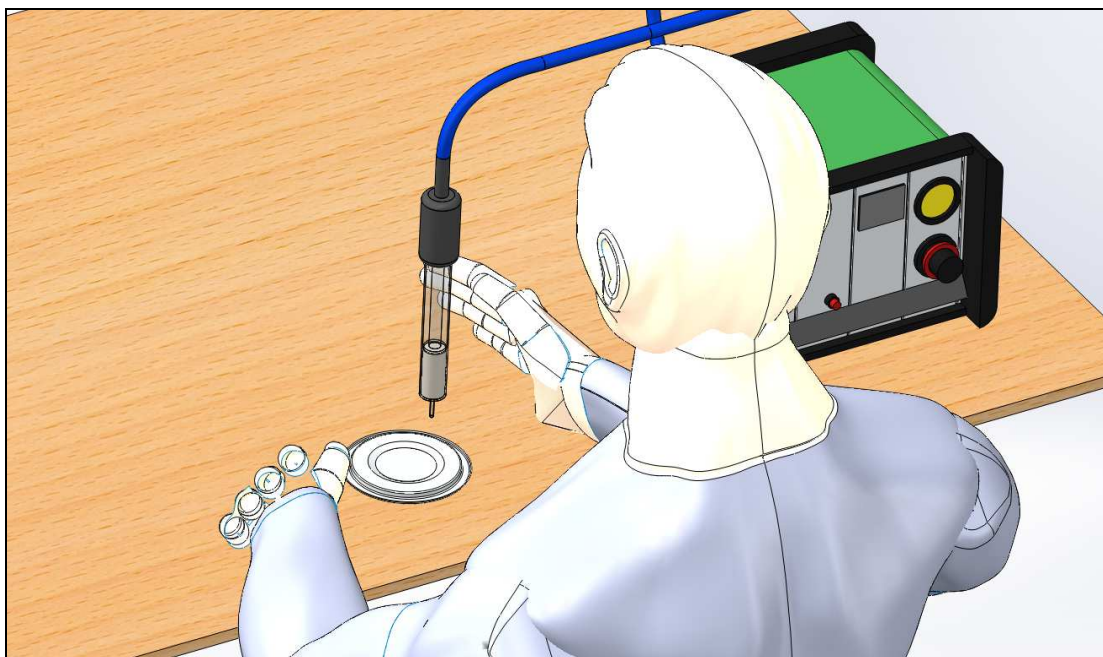


### 5.1.5 Varianta č. 5

V této variantě bude těsnící hmota nanášena ručně. Dojde k nenesení hmoty pomocí pneumatického dávkovače, který zaručí stejnou dávku hmoty na víčku. Jako nová investice by zde připadalo v úvahu pouze dávkovací zařízení. Nevýhodu představuje velké prodloužení cyklu a nerovnoměrné nanesení hmoty (obr. č. 26 a obr. č. 27).



Obr. č. 26: Varianta č. 5



Obr. č. 27: Varianta č. 5 - detail

## 5.2 Kritéria hodnocení jednotlivých variant

U jednotlivých variant jsou brány v úvahu tyto nejdůležitější kritéria s přiřazenými vahami jejich hodnocení:

Tab. č. 1: Vážené hodnoty jednotlivých kritérií

	kritérium	Popis kritéria	Přiřazená váha
1	<b>Složitost změny průměru víčka</b>	Variabilita průměru musí být v rozmezí 50 mm až 136 mm. Přestavba na průměr by měla být co nejjednodušší.	<b>10%</b>
2	<b>Celistvost nanesení vrstvy</b>	Nanesená vrstva by měla být rovnoměrná, bez jakýchkoliv přerušení, propadů či výstupků. Měla by mít konstantní tloušťku v každém místě průřezu nanesené vrstvy.	<b>25%</b>
3	<b>Rozprostření hmoty po ploše</b>	Těsnící hmota by měla být rozprostřena po celé ploše průřezu lemu víčka. To znamená od vnitřního průměru lemu víčka až po vnější průměr (okraj).	<b>20%</b>
4	<b>Konstrukční složitost varianty</b>	Vítězná varianta by měla být konstrukčně co nejjednodušší z hlediska vyrobitelnosti.	<b>5%</b>
5	<b>Zachování času výrobního cyklu</b>	Jak již bylo uvedeno v inovačním prohlášení, nemělo by dojít k prodloužení výrobního cyklu, jelikož tím by se zdražila cena výroby jednoho kusu pogumovaného víčka.	<b>5%</b>
6	<b>Nízká investice do stroje</b>	Vzhledem k plánované nízké investici do stroje je třeba brát toto kritérium v potaz.	<b>10%</b>
7	<b>Životnost stroje</b>	Vzhledem k plánované délce inovačního cyklu výrobku by měl mít stroj delší životnost.	<b>5%</b>
8	<b>Bezúdržbový provoz</b>	Vzhledem k požadavku zachování či zkrácení původního výrobního cyklu je třeba dbát na toto kritérium, aby vlivem znečištění nedocházelo k prodlužování cyklu a byly minimalizovány prostoje vzniklé údržbou.	<b>10%</b>
9	<b>Přesnost dávkování v cyklu</b>	Je důležitá z důvodu dodržení co nejlepší opakovatelnosti nanesené vrstvy.	<b>5%</b>
10	<b>Spotřeba nanášecí hmoty</b>	Spotřebu je třeba minimalizovat, aby nedošlo k dodatečným vícenákladům.	<b>5%</b>

### 5.2.1 Popis kritérií ve vztahu k jednotlivým variantám

1) Složitost změny průměru víčka

Tento nárok nejlépe splňuje varianta č. 5, jelikož zde při změně průměru není nezbytné nic přestavovat. U ostatních variant je výměna, změna průměrů a nastavení při této operaci téměř stejně obtížná.

2) Celistvost nanesené vrstvy

Jmenované kritérium nejlépe splňuje varianta č. 4 a varianta č. 3. Nejhůře jej splňuje varianta č. 5, kde kvalita celistvosti nanesené vrstvy záleží přímo na lidském faktoru.

3) Rozprostření hmoty po ploše

Uvedené kritérium nejlépe splňuje varianta č. 2. Zde je využito principu odstředivé síly. Tím pádem se nanášená hmota rozlévá po celé ploše víčka. Jako další bude dané kritérium dobře splňovat varianta č. 3, zde bude pouze vnitřní část lemu nepatrně stíněna vnitřní hranou víčka. V tomto místě nebude těsnící hmota nastříknuta. Nejhůře kritériu vyhovuje varianta č. 5, zde je kvalita rozprostření závislá na lidském faktoru.

4) Konstrukční složitost varianty

Toto kritérium nejlépe naplňuje svojí jednoduchostí varianta č. 5. Naopak nejhůře varianta č. 3, jelikož je zde použito zcela jiného a poměrně technicky složitějšího principu nanášení.

5) Zachování času výrobního cyklu

Danému kritériu nejlépe vyhovuje varianta č. 2, jelikož je zde nahrazen rotační mechanismus rychlejším, a tím se zkrátí i čas výrobního cyklu. Nejhůře tomuto kritériu vyhovuje varianta č. 5. Ta je poměrně náročná na přesnost pracovníka, proto je zde delší výrobní cyklus.

6) Nízká investice do stroje

Kritériu nejlépe vyhovuje varianta č. 1, jelikož jsou zde zachovány všechny komponenty původního stroje a přidala se pouze roztlávací planžeta.



Naopak nejhůře zde dopadla varianta č. 3, jelikož se jedná o jiný princip a je zde použito nejvíce nových komponent stroje.

7) Životnost stroje

Toto kritérium splňují téměř všechny varianty obdobně, kromě varianty č. 4. Ve variantě č. 4 je použito vyhřívání některých komponent stroje, kde bude se stoupající teplotou docházet k degradaci některých použitých materiálů.

8) Bezúdržbový provoz

Tomuto kritériu nejlépe vyhovuje varianta č. 2, kde vlivem minimalizace nanášeného materiálu přímo v trysce nedochází k zanášení a zasychání hmoty. Naopak nejhůře jej splňuje varianta č. 3, kde vlivem použitého principu se značně špiní okolní komponenty, které je třeba udržovat.

9) Přesnost dávkování v cyklu

Přesnost dávkování je u všech variant téměř obdobná, pouze u varianty č. 3 a č. 4 je méně nepřesná vlivem použité trysky. V trysce, po každém zavření zůstává značné množství materiálu, které poté vstupuje do dalšího cyklu. Tento nežádáný „zásobník“ materiálu může ovlivnit přesnost dávkování.

10) Spotřeba nanášecí hmoty

Nejmenší spotřeba nanášecí hmoty je u varianty č. 2 a to díky dokonalému rozlévání vlivem odstředivé síly. Největší spotřeba nanášecí hmoty je naopak u varianty č. 3, kde vlivem použitého principu dochází k velkému plýtvání.

Číselně jsou tyto hodnoty přiřazeny jednotlivým kritériím a jsou shrnuty níže v tabulce č. 2.

### 5.3 Detailní hodnocení – výběr vítězné varianty

Detailní hodnocení je provedeno přes vážené hodnoty jednotlivých vlastností. Váha přidělená vlastnosti znamená její důležitost pro inovovaný stoj. Vlastnost má přidělenou známku od 1 do 5, kde 5 znamená nejlepší hodnocení. Vyhrává varianta s nejvyšším součtem vážených hodnot.

Tab. č. 2: Detailní hodnocení konceptů - rozhodovací tabulka,  
kde (PU - prostá hodnota, VU - vážená hodnota)

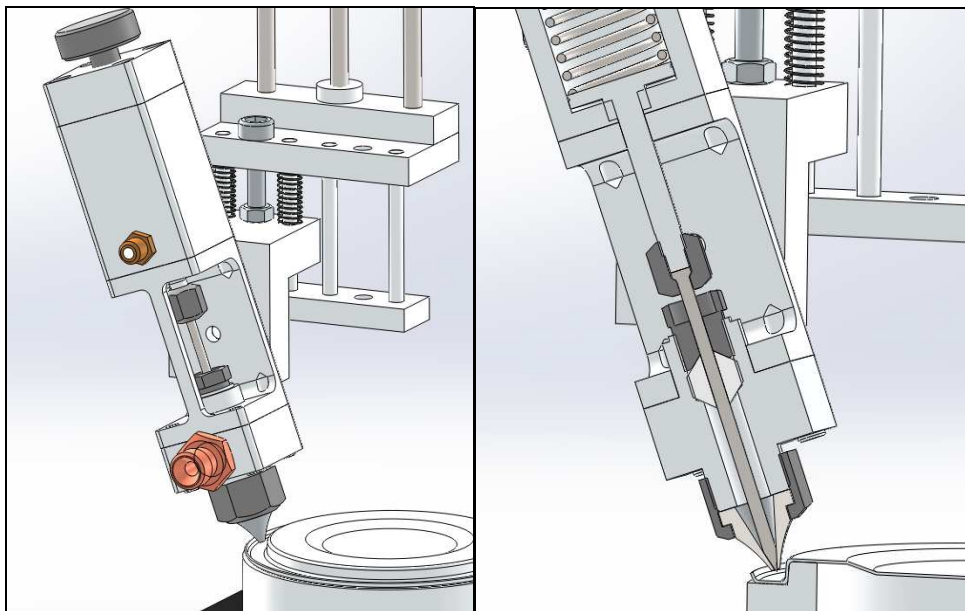
	kritérium	váha	Návrhy variant										V max zakládání
			č. 1		č. 2		č. 3		č. 4		č. 5		
			PU	VU	PU	VU	PU	VU	PU	VU	PU	VU	
1	Složitost změny průměru víčka	10%	3	0,3	4	0,4	4	0,4	3	0,3	5	0,5	0,5
2	Celistvost nanesení vrstvy	25%	2	0,5	4	1	4	1	3	0,75	1	0,25	1,25
3	Rozprostření hmoty po ploše	20%	2	0,4	5	1	4	0,8	2	0,4	1	0,2	1
4	Konstrukční složitost varianty	5%	4	0,2	2	0,1	1	0,05	2	0,1	5	0,25	0,25
5	Zachování času výrobního cyklu	5%	3	0,15	4	0,2	3	0,15	3	0,15	1	0,05	0,25
6	Nízká investice do stroje	10%	5	0,5	2	0,2	1	0,1	2	0,2	4	0,4	0,5
7	Životnost stroje	5%	4	0,2	4	0,2	3	0,15	2	0,1	4	0,2	0,25
8	Bezúdržbový provoz	10%	2	0,2	3	0,3	1	0,1	2	0,2	3	0,3	0,5
9	Přesnost dávkování v cyklu	5%	3	0,15	4	0,2	4	0,2	3	0,15	4	0,2	0,25
10	Spotřeba nanášecí hmoty	5%	4	0,2	5	0,25	1	0,05	4	0,2	2	0,1	0,25
součet hodnot			2,8		3,85		3		2,55		2,45		5
užitnost			56%		77%		60%		51%		49%		100%
pořadí výběru			3		1		2		4		5		
Implementace v projektu			ne		Ano		ne		ne		ne		

V detailním hodnocení se stala vítězem varianta č. 2, která bude dále rozpracována v této diplomové práci.

## 6. Rozpracování vítězné varianty

Jak již bylo uvedeno v návrhu variant, tato varianta inovuje původní nanášecí stroj. Je zde zachováno poměrně velké množství komponent původního stroje. V této vítězné variantě je nezbytné upravit:

- 1) Změnu řízení stroje (nanesení hmoty na více než jednu otáčku) z důvodu zmenšení místa vlivu tlakové špičky při otevření trysky. To docílíme úpravou rotačního mechanismu s přidáním frekvenčního měniče pro dokonalou regulaci nastavení.
- 2) Rotační mechanismus tak, abychom dosáhli vyšší rychlosti a tím větší odstředivé síly, která má zásadní vliv lepší rozlévání hmoty po celé ploše lemu víčka.
- 3) Mechanismus a tvar trysky takovým způsobem, aby byla jehla uzavíraná přímo do ústí trysky (obr. č. 28).



Obr. č. 28: Upravený stav trysky

- 4) Upravit základací talíře tak, aby víčko bylo přesně vystředěné a přesně pasující na základací talíř (obr. č. 29). Při výrobě talíře (soustružení) spasovat tvar přímo s vnitřní geometrií víčka.

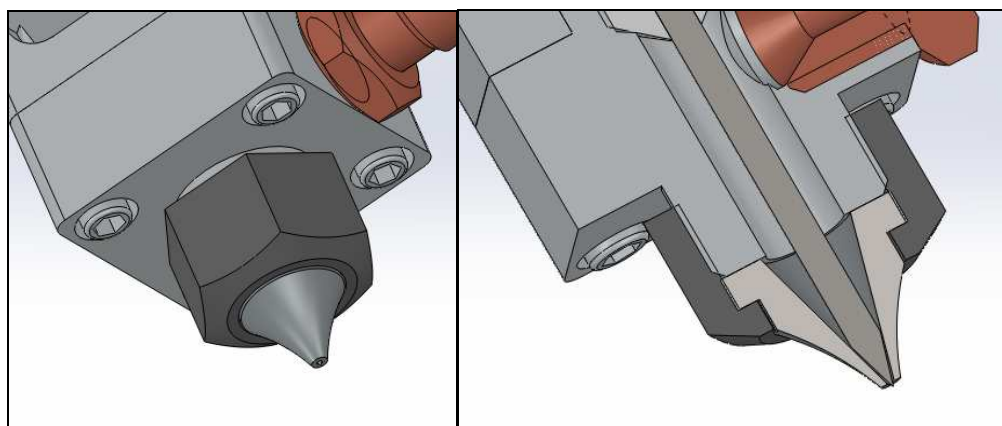


Obr. č. 29: Nové zakládací talíře

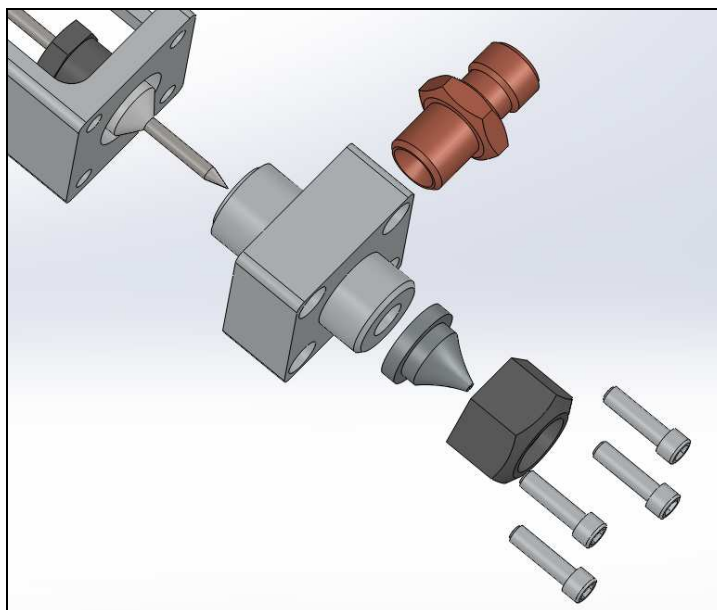
## 6.1 DFX

Jelikož se nejedná o sériovou výrobu, bude vyroben pouze jeden (výrobní kapacita stroje není zdaleka nejužším místem výrobní linky). Není nutné klást důraz na rychlost a jednoduchost montáže, tedy metodu DFA (Design for Assembly). Z hlediska principů DFX je nejdůležitější princip DFMT (Design for Maintenance), neboli design pro údržbu. Při každé odstávce stroje je totiž nutné celé vedení hmoty důkladně vyčistit, aby nedošlo k zatuhnutí hmoty. Proto je třeba systém navrhnout tak, aby bylo čištění co nejjednodušší.

### 6.1.1 Stav před aplikací DFMT



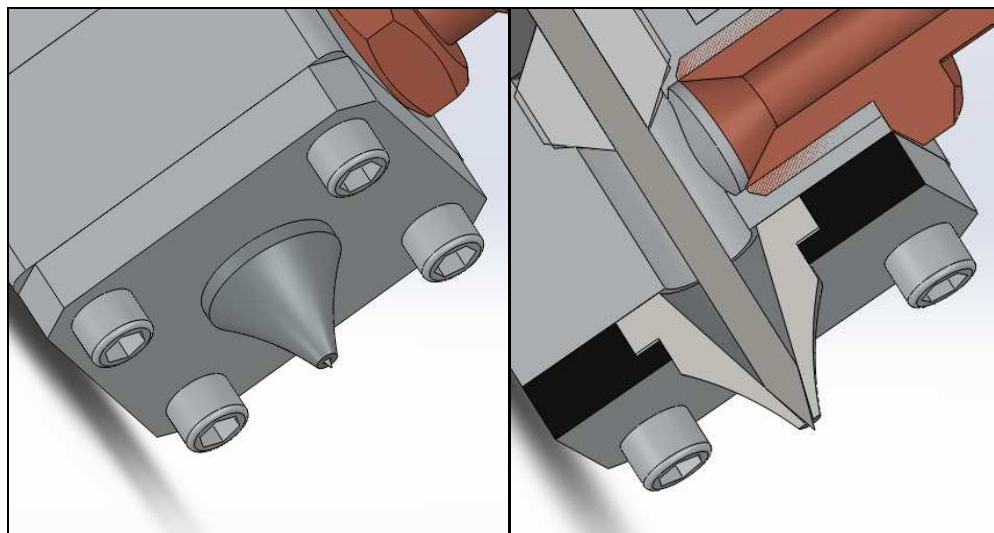
Obr. č. 30: Původní konstrukce uchycení trysky (s novou tryskou)



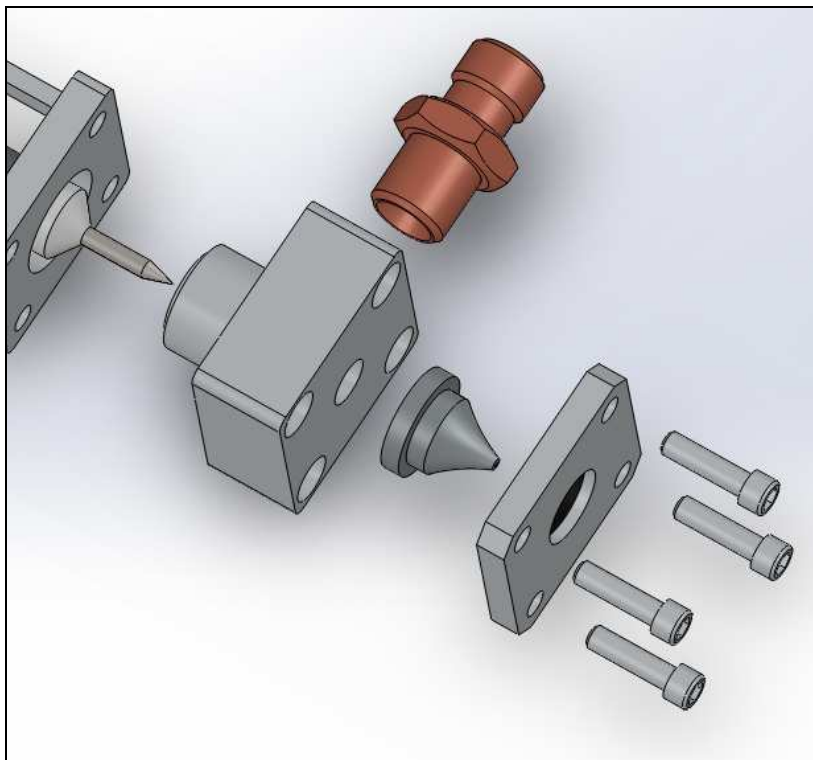
Obr. č. 31: Rozpad dílů původní konstrukce uchycení trysky

Jak je vidět na obr. č. 30 a obr. č. 31, je zde pro kompletní rozebrání hlavice trysky potřeba povolit převlečnou matici, sundat trysku, povolit 4 šrouby a vyšroubovat přívod nanášecí hmoty.

### 6.1.2 Stav po aplikaci DFMT



Obr. č. 32: Konstrukce uchycení trysky po DFMT



Obr. č. 33: Rozpad dílů konstrukce uchycení trysky po DFMT

Jak je vidět na obr. č. 32 a obr. č. 33, v souladu s metodou DFMT odpadá upevnění trysky pomocí převlečné matice. Pro rozebrání hlavice trysky zde stačí vyšroubovat 4 šrouby a odmontovat přívod nanášecí hmoty. Tryska je připevněna na 4 šrouby, které drží celou hlavici pohromadě.

Obecně při této inovaci byly použity standardně dodávané díly, co nejjednodušší principy, standardní materiály a při výrobě nových dílů bylo použito volné tolerování.

## 6.2 Kontrola tlakové nádoby - FEM analýza

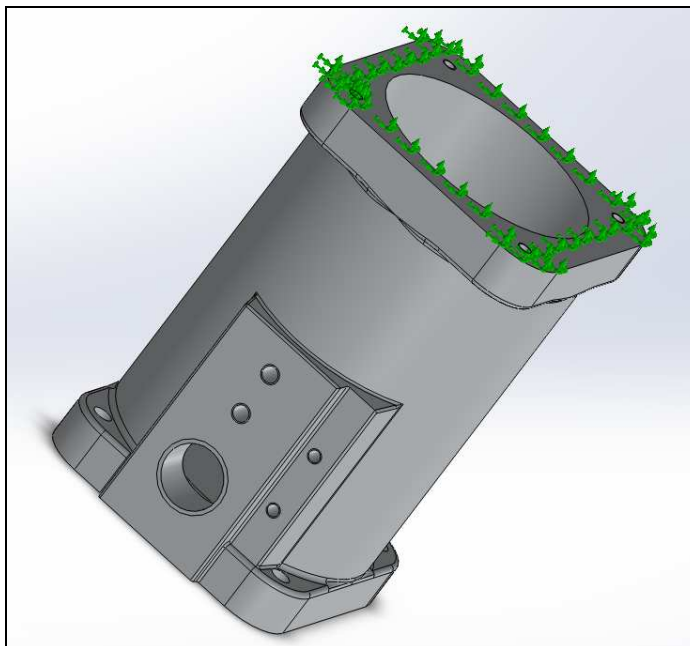
Inovované zařízení bude pracovat s vyšším tlakem, než bylo původně použito doposud. Navýšení tlaku je způsobeno zmenšeným průměrem nanášecí trysky. Z tohoto důvodu je provedena kontrola tlakové nádoby, jelikož v dochovaných technických listech tlakové nádoby není uveden maximální přípustný tlak v této nádobě.

Maximální tlak v nádobě 6 bar ~ 87,02 psi (tlak stlačeného vzduchu v rozvodu stlačeného vzduchu). Materiál nádoby je hliníková slitina. Jelikož není známo přesné složení materiálu, bude pro výpočet použita obvyklá slitina základní řady hliníkových slitin a to slitina EN-AW 1200 (nádobu může být v reálu vyrobena z pevnostně lepšího materiálu). Výpočet pevnosti víka zde není brán v potaz, jelikož se jedná o nejsilnější část nádoby a tím pádem se nebude jednat o kritické místo.



### 6.2.1 Kontrola kritické části nádoby

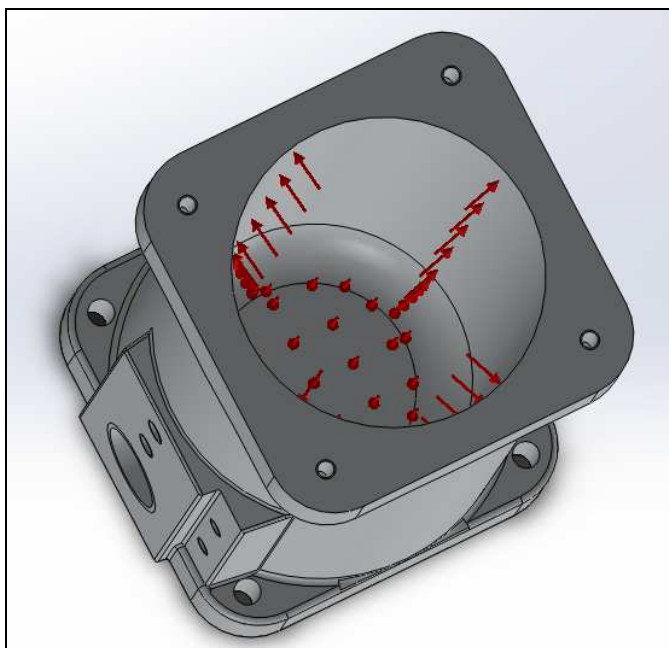
Definice uchycení:



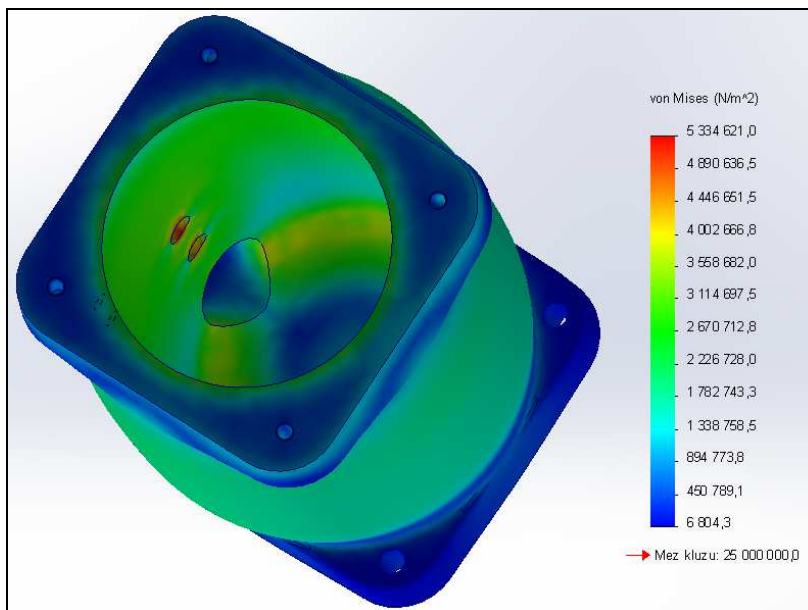
Obr. č. 33: FEM analýza - definice uchycení

Definice zatížení:

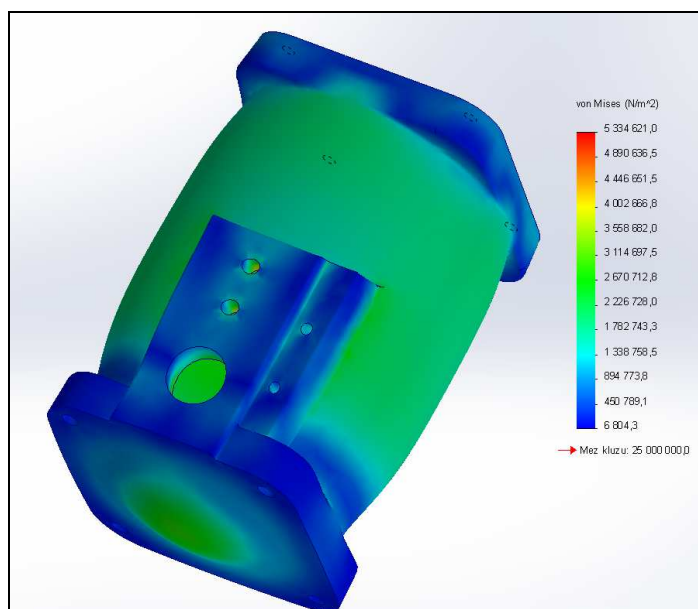
Tlak 6 bar  $\sim 87,02$  psi, který působí na všechny vnitřní plochy nádoby je statický. Změna zatížení probíhá pouze při doplňování těsnící hmoty, proto je zde uvažováno pouze statické zatížení.



Obr. č. 34: FEM analýza - definice zatížení



Obr. č. 35: FEM analýza – pevnostní namáhání A



Obr. č. 36: FEM analýza – pevnostní namáhání B

**Podle zadaných, extrémně krajních parametrů je nejnižším koeficientem bezpečnosti nalezeném v 3D modelu 4,68.**

Nádoba i při uvažovaném výpočtu s méně kvalitní slitinou hliníku a při zatížení maximálním možným tlakem (tlak rozvodu stlačeného vzduchu – takto vysoký tlak při běžném použití nenastane), což jsou nejhorší možné varianty, splňuje pevnostní podmínky s bezpečností 4,68.

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Solidworks 2012 v nadstavbě Simulationexpress.



## 6.2.2 Kontrola pevnosti šroubů tlakové nádoby

Víko je připevněno na čtyřech šroubech M6, při výpočtu je vycházeno ze vztahu:

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow$$
$$F = p \cdot S$$

Kde plocha je  $S = 7088 \text{ mm}^2 = 0,007088 \text{ m}^2$  a je  $p = 6 \text{ bar} = 600000 \text{ Pa}$

$$F = 600000 \cdot 0,007088 = \underline{4252,8 \text{ N}}$$

Síla působící na víko je 4252,8 N. Víko je upevněno na čtyřech šroubech  $\Rightarrow$  síla působící tahem na jeden šroub je  $F_1 = 1,2 \cdot \frac{F}{4} = \underline{1275,8 \text{ N}}$ , kde konstanta 1,2 obsahuje nerovnoměrnost rozložení síly při dotažení jednotlivých šroubů. Pokud budeme považovat víko za nedeformující se součást s malým počtem cyklů zatížení (změna zatížení probíhá pouze při výměně těsnící hmoty), bude šroub namáhán čistě na tah, statickým zatížením.

Vyvozený utahovací moment od ručního utahování  $M_u$ , který je (ověřen na použitém tvaru rukojeti šroubu momentovým klíčem) přibližně  $M_u = 1,5 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Dále je-li uvažováno, že pro odporový třecí moment mezi hlavou šroubu a podložkou  $M_{pu}$ , a odporovým momentem tření závitu při montáži  $M_{zu}$  platí vztah [7]:

$$M_{pu} = \frac{1}{2} M_{zu}$$

Poté je vycházeno ze vzorce pro výpočet utahovacího momentu [7]:

$$M_u = \frac{3}{4} d_2 F_Q \tan(\gamma + \varphi'_z)$$

Z tohoto vzorce je vyjádřena síla předpětí šroubu  $F_Q$ :

$$F_Q = \frac{4 \cdot M_u}{3 \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi'_z)},$$

kde je  $\gamma = \arctan \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{1}{\pi \cdot 5,35} = \arctan 0,059497 = 3,405^\circ$  a

$\varphi'_z = \arctan f_z = \arctan 0,12 = 6,843^\circ$  [8], po dosazení:

$$F_Q = \frac{4 \cdot 1,5}{3 \cdot 0,00535 \cdot \tan(3,405^\circ + 6,843^\circ)} = 2067,73 \text{ N}$$

Jsou zde použity šrouby M6x1 pevnosti 8.8, které jsou kontrolovány na tah:

$$R_m = \frac{F_{t\max}}{S} \Rightarrow F_{t\max} = S \cdot R_m$$

$R_m$  mez pevnosti v tahu [MPa]

$F_{t\max}$  je maximální tahová síla na jeden šroub

$S$  je nejmenší plocha průřezu šroubu

$d_3$  je nejmenší průřez šroubu

$$R_m = 800 \text{ MPa} [4]$$

$$d_3 = 4,773 \text{ mm} = 0,004773 \text{ m} [8]$$

$$F_{t\max} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot R_m$$

$$F_{t\max} = \frac{\pi \cdot 0,004773^2}{4} \cdot 800 \cdot 10^6$$

$$F_{t\max} = \frac{\pi \cdot 0,004773^2}{4} \cdot 800 \cdot 10^6$$

$$F_{t\max} = 14306 \text{ N}$$

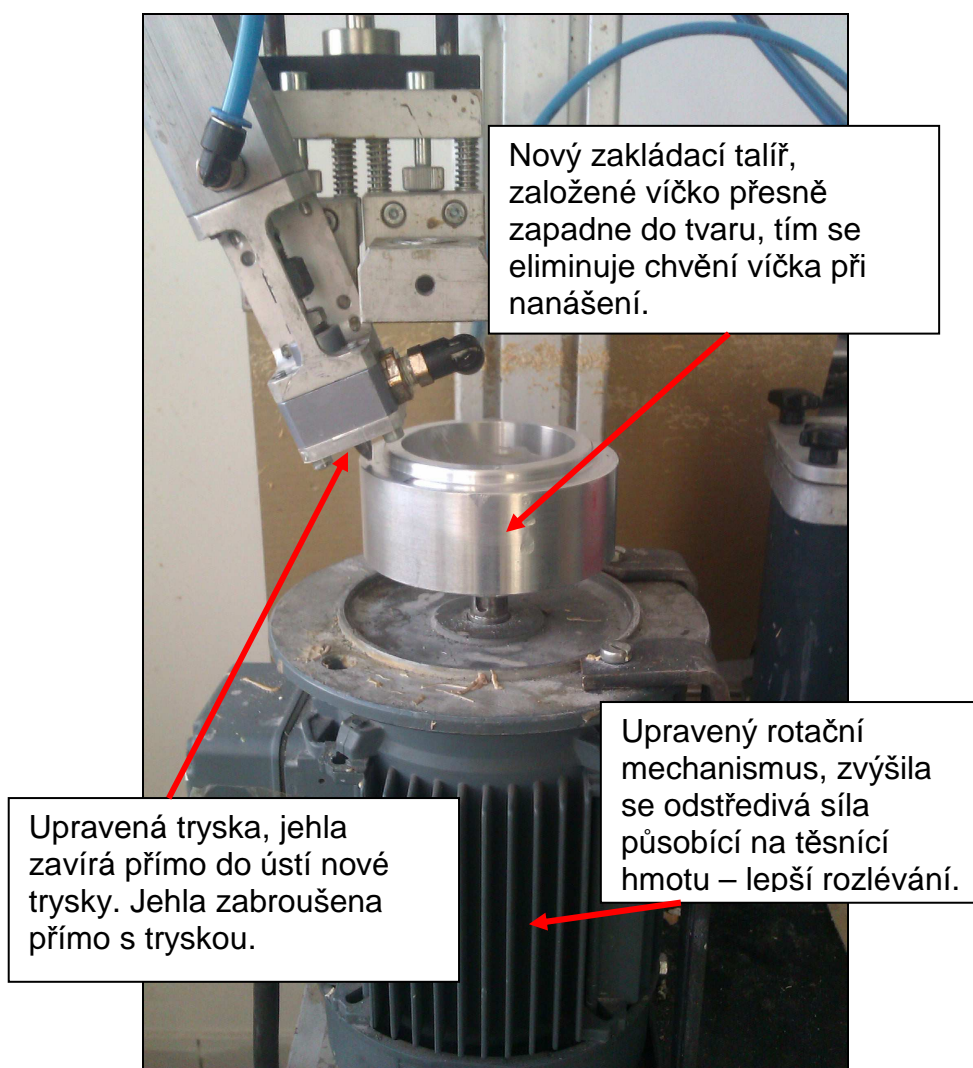
$$F_1 + F_Q < F_{t\max}$$

$$1275,8 \text{ N} + 2067,7 \text{ N} < F_{t\max}$$

$$3343,5 \text{ N} < F_{t\max}$$

Síla působící na jeden šroub je více jak 4,2x menší než maximální možná působící síla. Bezpečnost šroubu je tedy 4,2. Šrouby kontrole na tah vyhovují.

## 6.3 Stavba funkčního prototypu



Obr. č. 37: Prototyp - detail

### 6.3.1 Upravený rotační mechanismus

Pro stavbu prototypu byl použit motor, který zůstal nevyužit z jiného vývojového projektu. Uvedený motor svými parametry vyhovoval požadavkům v této aplikaci. Výkon motoru je v této aplikaci poměrně předimenzován.

#### **Parametry motoru:**

Tří fázový asynchronní motor AEG

Typ: AM 71 NY 4

Vstupní napětí: 220/380V (zapojeno do  $\Delta$  na 220V)

Výkon: 0,37KW

Otáčky: 1370 ot. /min

Frekvence: 50Hz

### 6.3.2 Upravená nanášecí tryska



Obr. č. 38: Prototyp – detail upravené trysky



Obr. č. 39: Prototyp – použitá tryska

#### **Parametry použité trysky:**

Výrobce: Grace Darex

Označení: NOZZLE TUNGSTEN 0.70MM MKX

Průměru: 0,7 mm

### 6.3.3 Upravené řízení stroje

Je použit frekvenční měnič, kterým se docílí libovolného nastavení otáček motoru od 0 do jeho pracovních otáček (1370 ot./min). Zmíněným frekvenčním měničem je možné regulovat čas „dotočení“ po ukončení cyklu (má vliv na správné rozlití nanášené vrstvy).



Obr. č. 40: Prototyp – frekvenční měnič

#### **Technické parametry frekvenčního měniče:**

Výrobce: EUROTHERM DRIVERS

Model: 601/003/230/F/05/GR

Jmenovité vstupní napětí: 220-240V

Vstupní proud: 5,3A

Výstupní proud: 2,2A



## 6.4 Způsob hodnocení kvality nanesené vrstvy

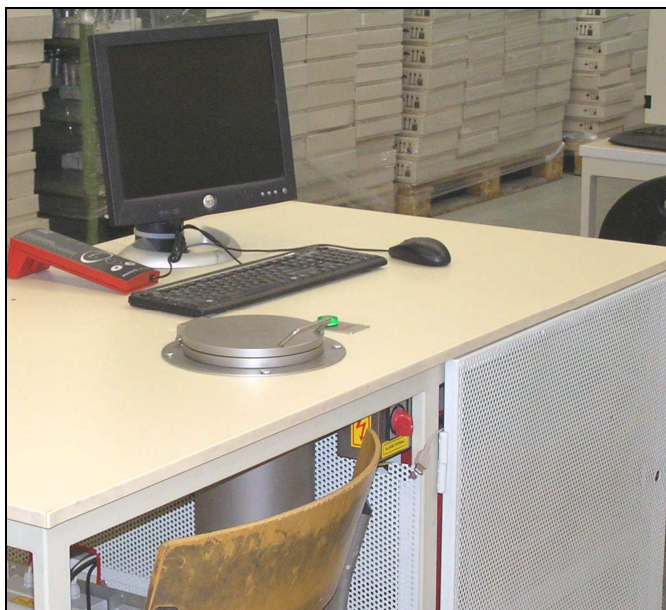
1) **Hodnocení kvality naneseného víčka probíhá v první řadě vizuálně dle referenčního vzorku.**

2) **V druhé řadě probíhá vyhodnocení správně nanesené hmoty v heliovém testeru (obr. č. 41).**

Princip je takový, že se zalemuje testované víčko s nanesenou těsnící hmotou společně s hliníkovým pouzdrem (obr. č. 51).

Ve svorkovnici (pokud není svorkovnice, vyvrtá se otvor, který se poté zanýtuje) víčka se nechá otvor, který se později zaletuje. Takto zalemovaný komplet s nezaletovaným otvorem se vloží do vakuové pece. V peci proběhne cyklus plnění dusíkem a heliem. Dusík se zde vyskytuje z hlediska jiné technologie a v této práci není podstatný. Helium slouží jako detekční plyn při netěsnosti. Po proběhnutí cyklu (naplněním směsí) se komplet vyjme z vakuové pece a neprodleně se zaletuje.

Takto připravený paket se vloží do heliového testeru (obr. č. 41). Jedná se o hermeticky uzavřenou nádobu, ve které po spuštění cyklu měření, vzniká podtlak a čidlo detekuje unikající molekuly helia. Na základě množství uniklého hélia (nesmí překročit empiricky ověřenou hodnotu, aby byl prohlášen za těsný) se vyhodnotí kvalita nanesení těsnící hmoty.

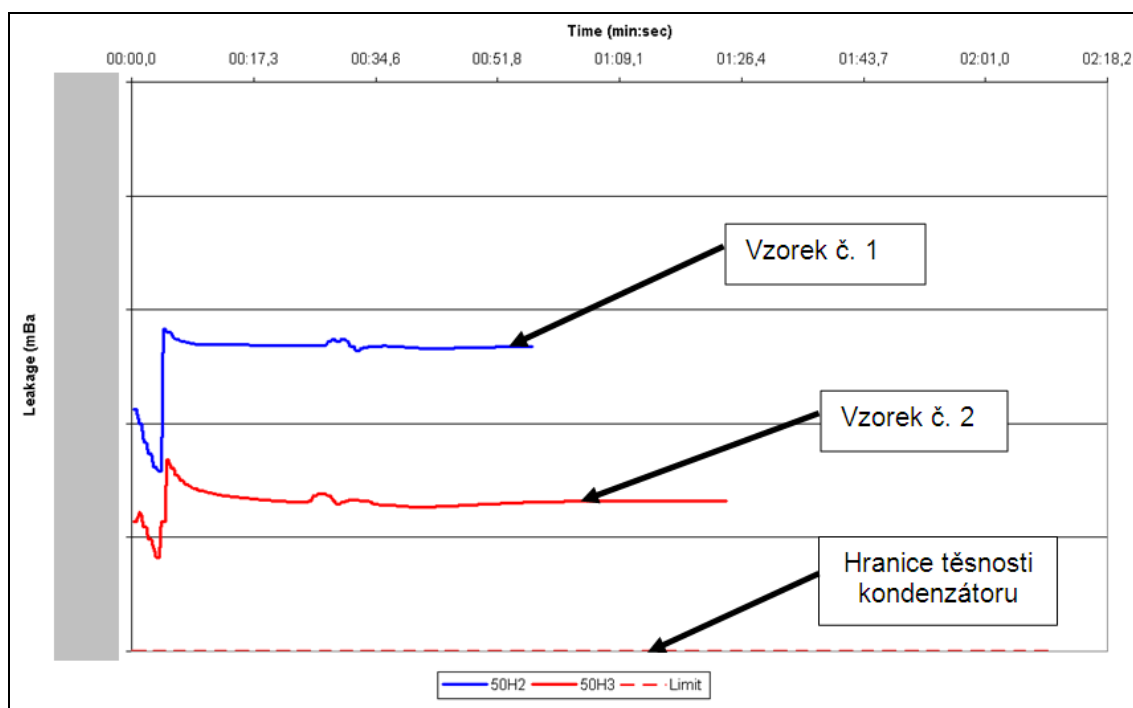


Obr. č. 41: Heliový tester

### 6.4.1 Výsledek heliového testu před úpravou stroje



Obr. č. 42: Víčko – původní nanesená vrstva

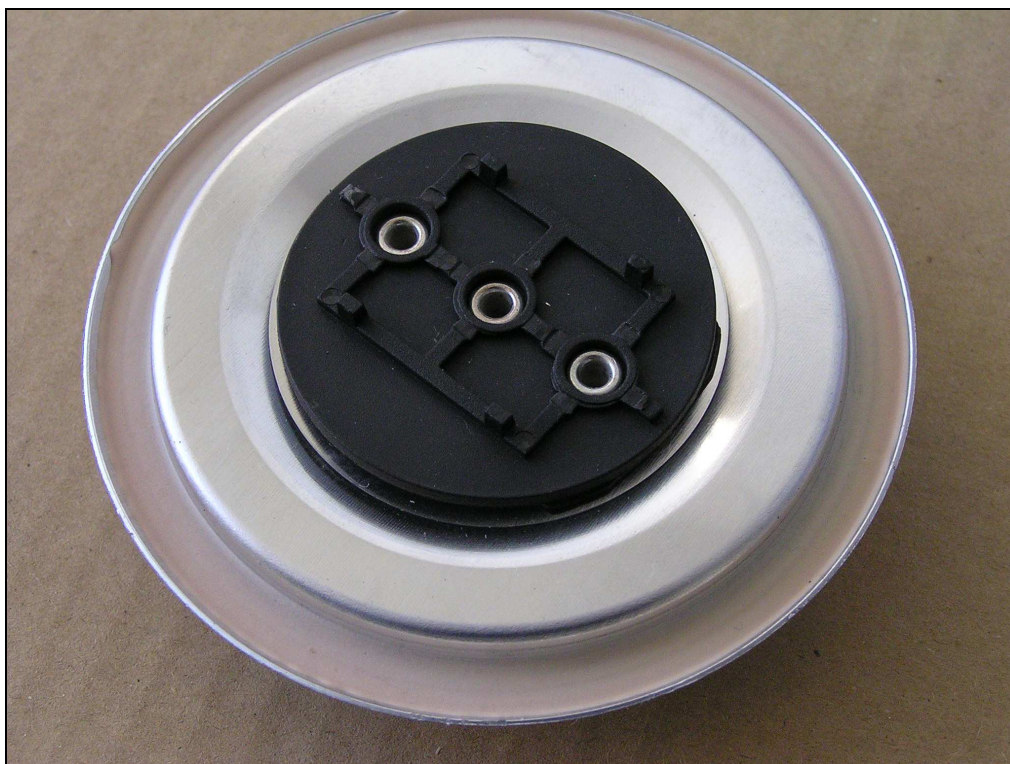


Obr. č. 43: Graf průběhu úniku helia ve vakuovém testeru původního stavu stroje

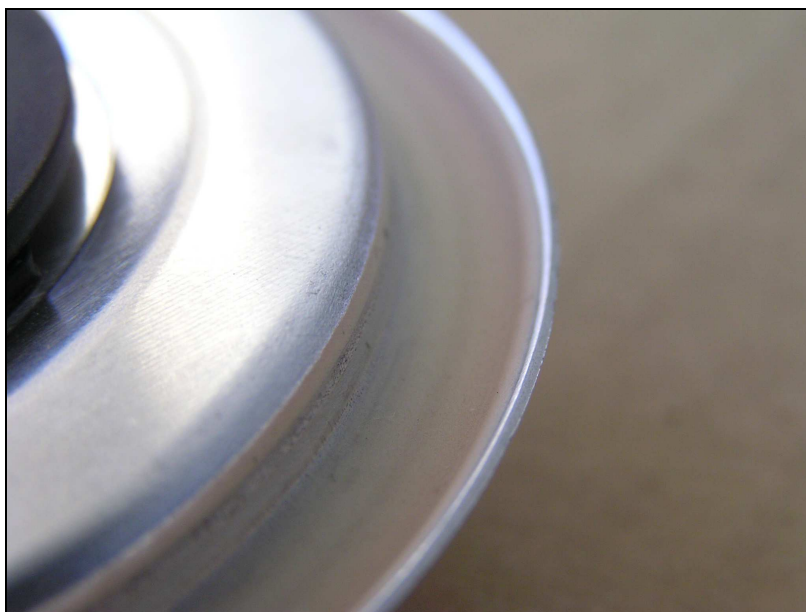
Jak je patrné grafu úniku helia (obr. č. 43), testované vzorky s původní nanesenou těsnící hmotou (obr. č. 42) jsou nad hranicí těsnosti kondenzátorů, tudíž nesplňují požadavky na těsnosti.

*Konkrétní hodnoty těsnosti a hranice těsnosti v grafu (obr. č. 43) nejsou v této diplomové práci záměrně uvedeny, aby nebylo prozrazeno firemní „know-how“.*

#### 6.4.2 Výsledek heliového testu po úpravě stroje



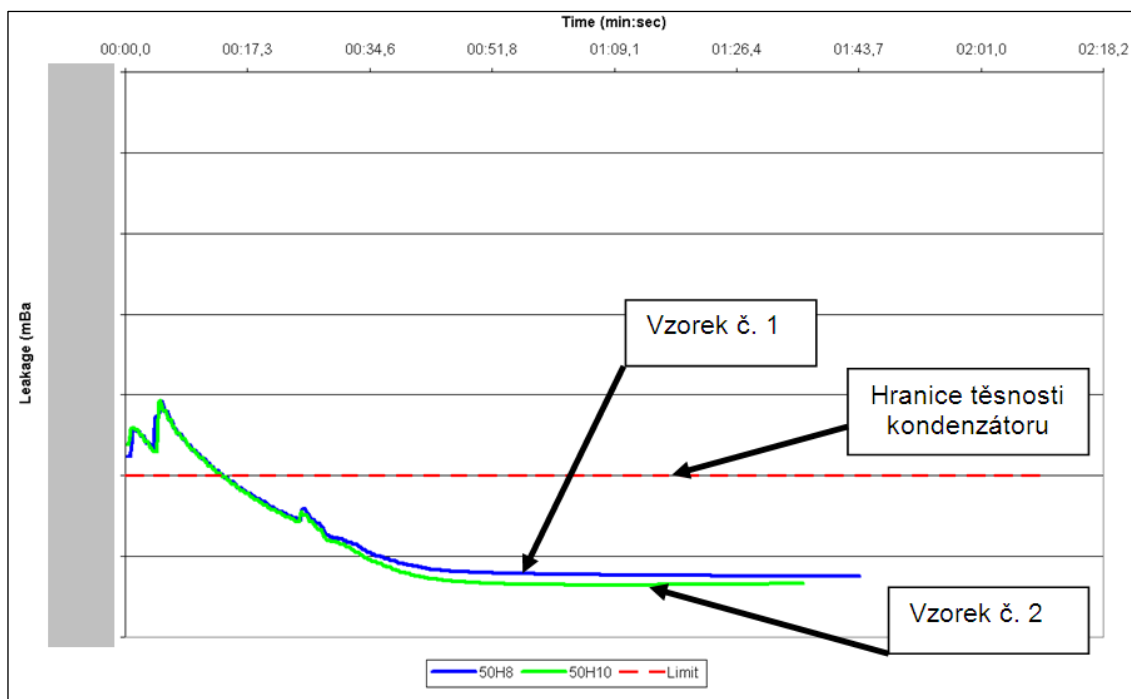
Obr. č. 44: Prototyp – nanesená vrstva



Obr. č. 45: Víčko – detail nanesení vrstvy po úpravě stroje

Čas cyklu nanesení hmoty na jedno (vyjmutí, založení, nanesení, vyjmutí a vložení víčka na sušící pozici) víčko se pohybuje v rozmezí 18 – 20 sekund (v závislosti na průměru víčka).





Obr. č. 46: Graf průběhu úniku helia ve vakuovém testeru po úpravě stroje

Jak je patrné z grafu množství úniku helia (obr. č 46), provedené úpravy na nanášecím stroji se znatelně osvědčily. Po testování prototypu bylo zjištěno, že odpadá ředění vodou. Nanášená hmota se dobře rozlévá vlivem odstředivé síly. To je pozitivní přínos pro kvalitu zesítování hmoty.

*Konkrétní hodnoty těsnosti a hranice těsnosti v grafu (obr. č. 46) nejsou v této diplomové práci záměrně uvedeny, aby nebylo prozrazeno firemní „know-how“.*

## 6.5 Optimalizace tloušťky nanesené vrstvy

Po prvotním testování stroje je třeba optimalizovat všechny parametry, které je možné ovlivnit a které mají na výslednou těsnost kondenzátoru vliv, aby bylo docíleno co nejlepšího výsledku. Jedná se o tyto parametry:

### Doba otevření trysky

Doba otevření trysky se nastavuje přímo na regulační jednotce stroje. Je rozhodující pro množství nanesené hmoty.

### Rychlost otáček rotačního mechanismu

Rychlost otáček musí být optimální. Pokud je rychlost moc malá, hmota se nerozlévá po celé ploše víčka a tvoří se úzká, v průřezu silná vrstva. V případě, že je rychlost moc velká, hmota je vlivem odstředivé síly vynášena mimo lem víčka – vylétává ven. Rychlost otáček asynchronního motoru je 1 370 ot./min. Tyto otáčky jsou regulovány přidaným frekvenčním měničem. Tímto měničem mohou být otáčky regulovány v rozpětí 0 ot./min až 1 370 ot./min.

### Doba dotočení rotačního mechanismu

Doba dotočení rotačního mechanismu je důležitá pro správné roztečení nanesené hmoty po celé ploše lemu víčka. Doba dotočení nesmí být moc krátká, aby nedošlo k prudkému zastavení a čerstvě nanesená hmota tím nebyla deformována. Na druhou stranu nesmí být moc dlouhá, aby nedocházelo vlivem odstředivé síly k vylétnutí nanesené hmoty mimo lem víčka. Doba dotočení se nastavuje na přidaném frekvenčním měniči. Tato doba je nastavována v sekundách.

### Tlak v tlakové nádobě

Tlak v tlakové nádobě je závislý na viskozitě nanášené hmoty. V této práci není cíleně uvedeno složení nanášené hmoty, aby nebylo prozrazeno firemní „know-how“. Tlak je udáván v jednotkách bar a nastavuje se přímo na regulační jednotce stroje.

Na prototypu bylo provedeno mnoho pokusů s optimálním nastavením všech výše uvedených parametrů. Ze širokého spektra pokusů s nastavením byly vizuálně vybrány 3 nejlepší varianty nastavení:

### **Varianta A**

Při tomto nastavení byla rychlost otáčení rotačního mechanismu menší, což je vidět i na neúplném rozlití hmoty po celé ploše lemu víčka (obr. č. 47).



Obr. č. 47: Nanesená hmota – varianta A

### **Varianta B**

U tohoto nastavení byla rychlost rotačního mechanismu vyšší než u varianty A, což je vidět i na lepším rozlití hmoty po celé ploše lemu víčka (obr. č. 48).



Obr. č. 48: Nanesená hmota – varianta B

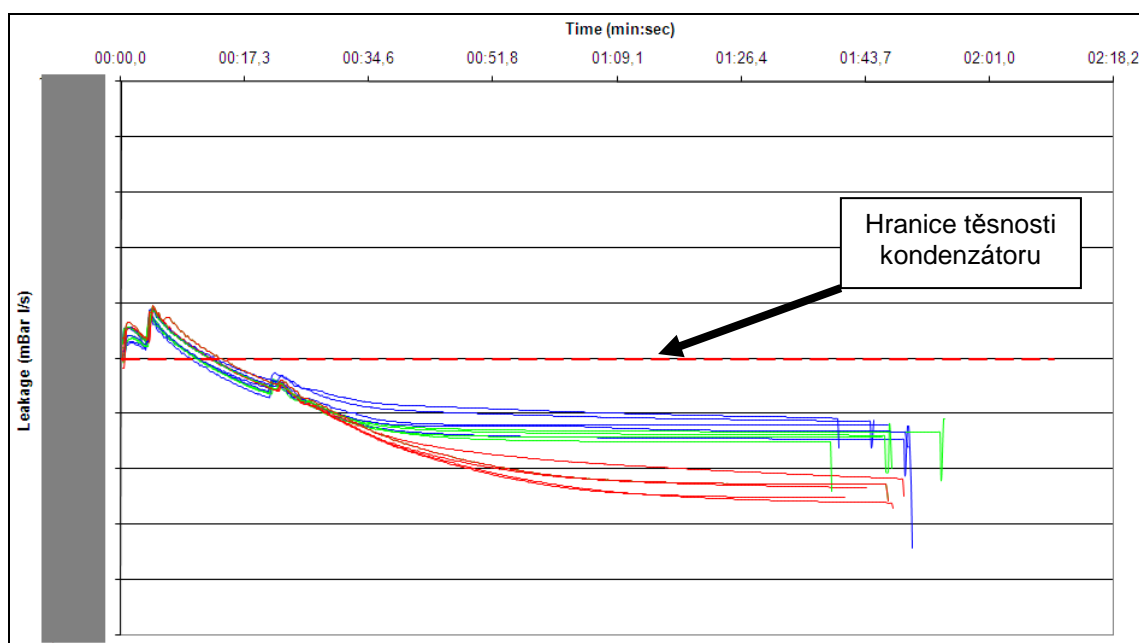
### **Varianta C**

V této variantě je nastavení téměř obdobné, jako u varianty B. Došlo zde k prodloužení doby dotočení rotačního mechanismu. Je patrné, že hmota je rozlita téměř do okraje (obr. č. 49).



Obr. č. 49: Nanesená hmota – varianta C

Od každé varianty bylo vytvořeno 5 ks vzorků, ze kterých byly následně vyrobeny makety (nefunkční) kondenzátory. Ty byly podrobeny heliovému testu.



Obr. č. 50: Graf heliového testu – optimalizace tloušťky nanesené vrstvy

V grafu (obr. č. 50), který je výsledkem heliového testu provedeném na pěti kusech vzorků od jednotlivých variant jsou barevně znázorněny křivky:

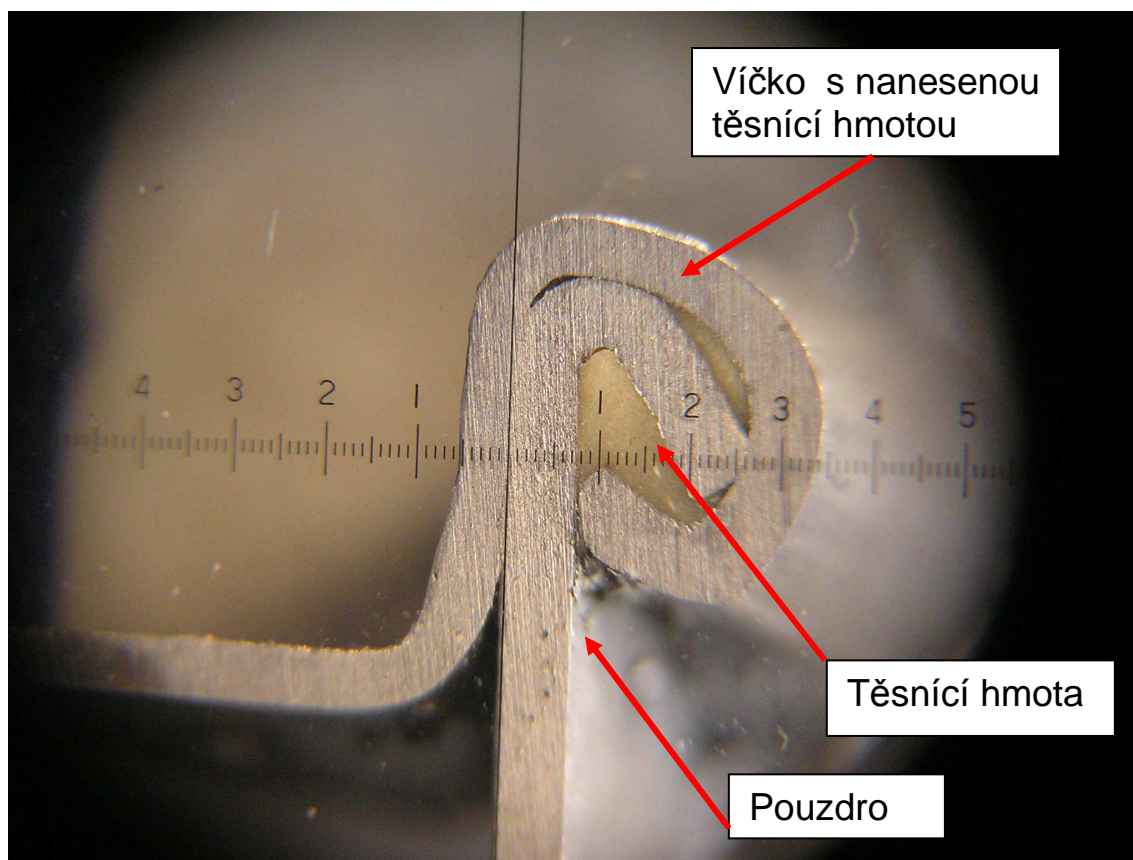
**modře – varianta A, zeleně – varianta B a červeně – varianta C.**

Z grafu (obr. č. 50) je zřejmé, že jako nejlepší varianta nastavení nanesení těsnící hmoty vychází **varianta C**. Tato varianta byla následně aplikována do prvotních

zakázek. Tímto způsobem je třeba vyzkoušet nastavení nanášecího stroje u každého průměru, jelikož lem víčka na každém průměru není totožný (ukázka optimalizace hmoty je provedena na průměru víčka 75 mm).

*Konkrétní hodnoty nastavení stroje a hodnoty těsnosti v grafu (obr. č. 50) nejsou v této diplomové práci záměrně uvedeny, aby nebylo prozrazeno firemní „know-how“.*

## 6.6 Uzávěr víčka s pouzdrem

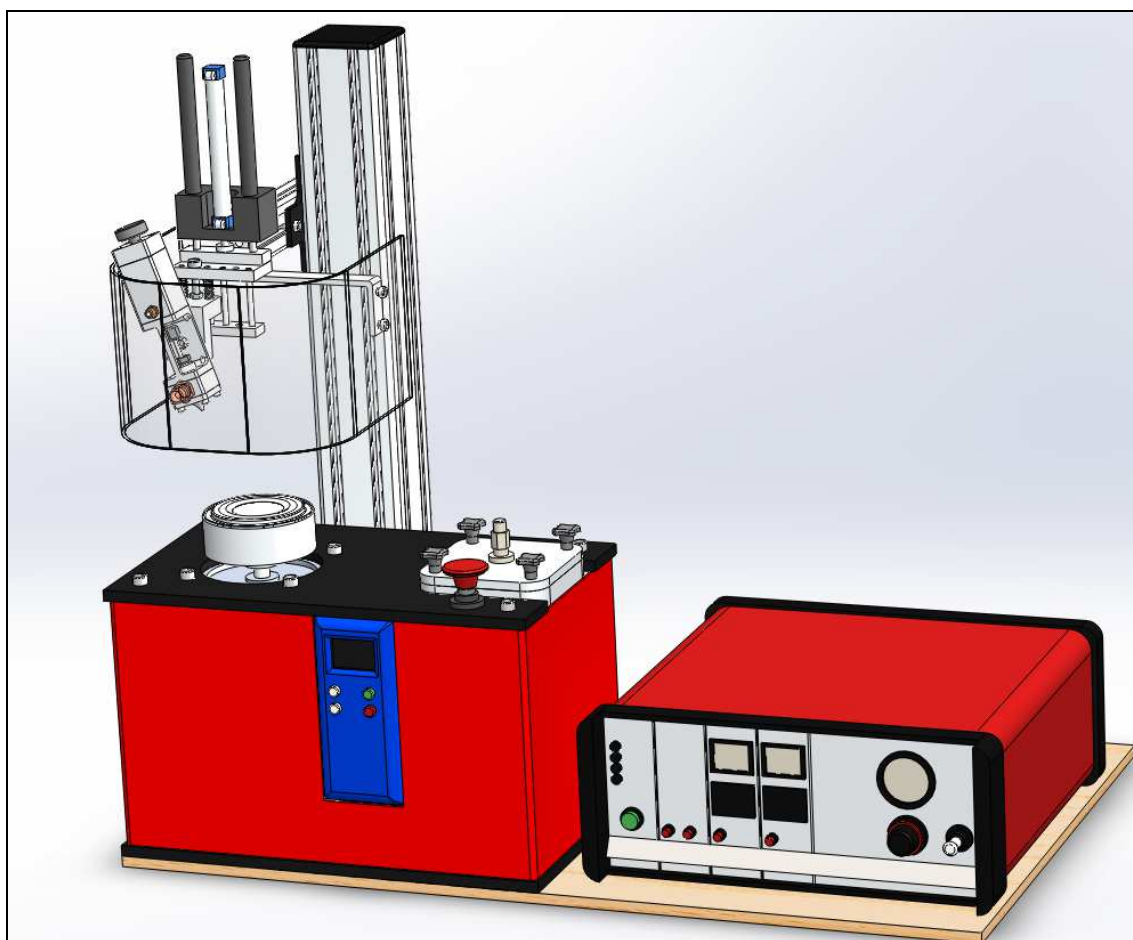


Obr. č. 51: Prototyp – detail řezu lemu

Na obrázku č. 51 je vidět detail řezu zalemovaného víčka se správně nanesenou těsnící hmotou po optimalizaci množství nanesené hmoty.

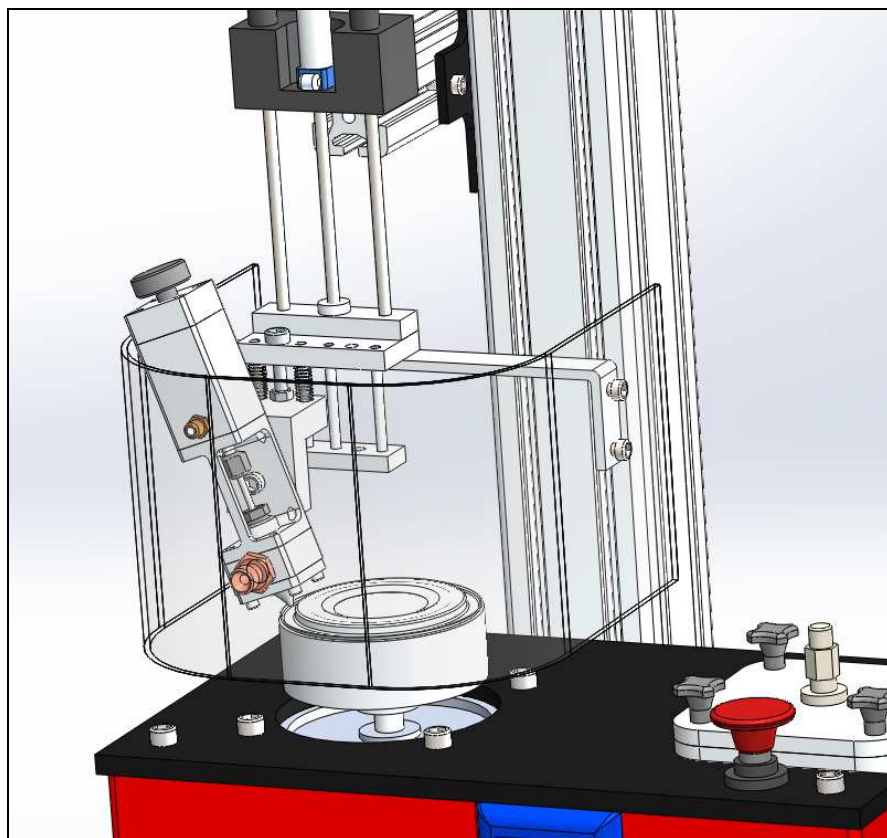
## 6.7 Finální podoba nanášecího stroje

Na základě zkušeností s prototypem bylo zjištěno, že se motor ani při velké produkci téměř neohřívá, proto může být umístěn přímo ve skříni bez větších nároků na chlazení. Díly, jako je elektrický motor a frekvenční měnič, které byly použity na stavbu prototypu, budou použity i ve finální podobě nanášecího stroje. Jinými slovy, prototyp bude upraven do fáze finálního stroje, který lze vidět na obrázcích č. 52, č. 53 a č. 54. Předpokládaný čas cyklu nanesení hmoty na jedno víčko bude stejný jako u prototypu, tedy 18 až 20 sekund v závislosti na průměru víčka.

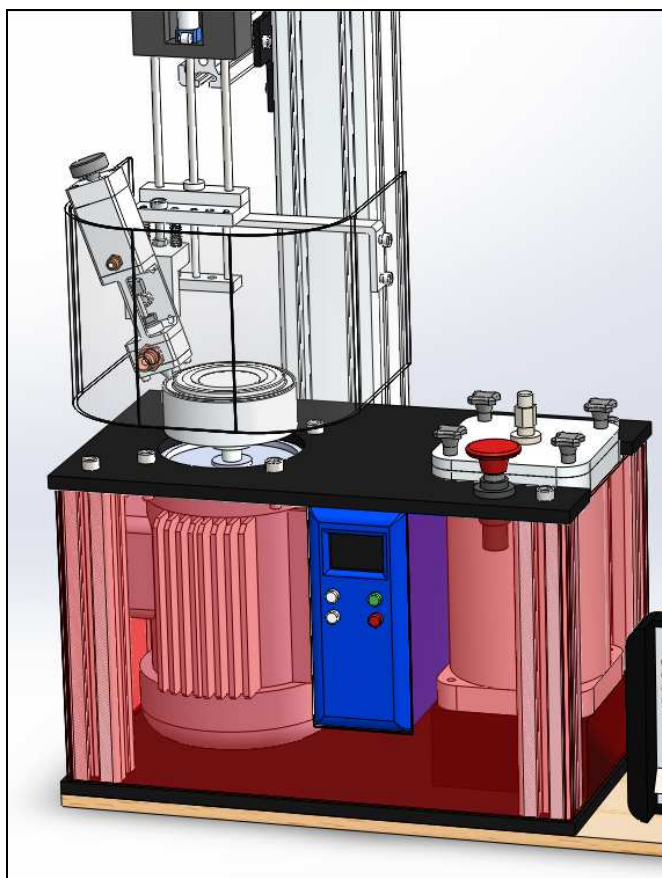


Obr. č. 52: Finální stroj





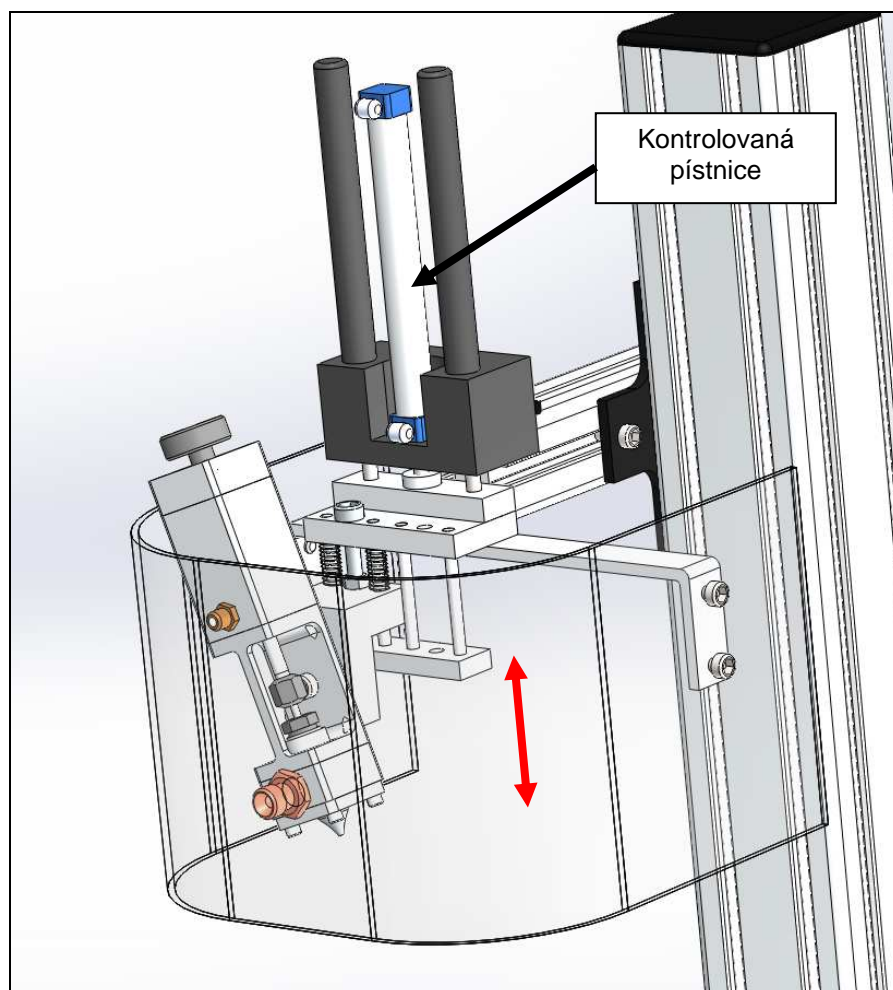
Obr. č. 53: Spodní poloha stroje



Obr. č. 54: Vnitřní uspořádání skříně



### 6.7.1 Kontrola pístnice po přidání ochranného krytu



Obr. č. 55: Kontrolovaná pístnice

#### Parametry pístnice:

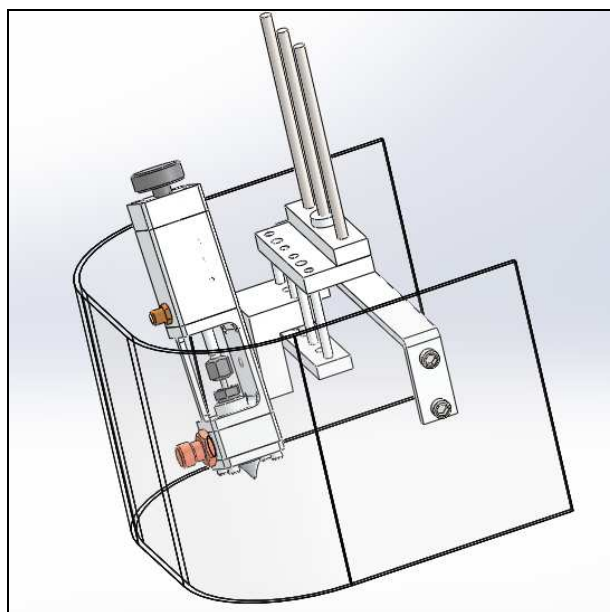
Typ: BOSCH 0-822-332-506-15

Rozměry válce:  $\varnothing 16-125$

Piston $\varnothing$		[mm]	16	20	25	
Retracting piston force		[N]	109	166	260	
Extracting piston force		[N]	127	198	309	
Cushioning length		[mm]	9	13	17.5	
Cushioning energy		[J]	0.6	1.5	2.3	
Weight	0 mm stroke	[kg]	0.1	0.16	0.265	
	+10 mm stroke	[kg]	0.0055	0.009	0.013	
Stroke max.		[mm]	800	1100	1300	

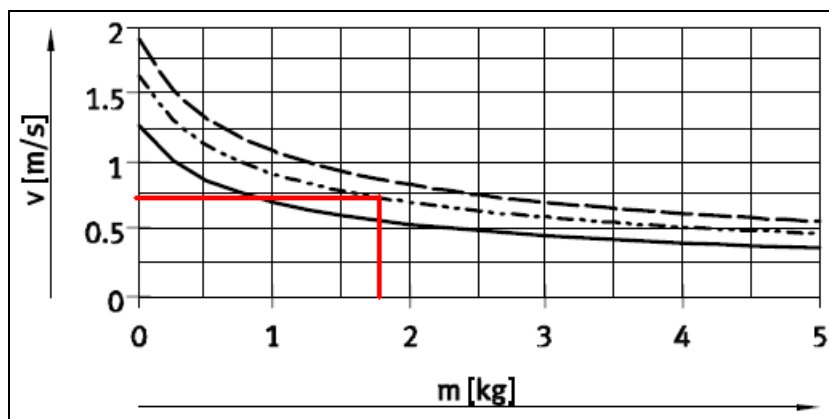
Obr. č. 56: Parametry pístnice [3]

Dle katalogu výrobce (obr. č. 56) je maximální síla tohoto pístu při zatažení 109N



Obr. č. 57: Zvedané části stroje

Hmotnost pístnicí zvedaných částí stroje po provedených úpravách dle 3D modelů (obr. č. 57) je 1796g.



Obr. č. 58: Střední rychlost pístnice 16-125 v závislosti na zatížení [3]

Střední rychlost pístu  $v = 0,7 \text{ m.s}^{-1}$

Délka pístnice  $s = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Rightarrow a = \frac{v^2}{2s} = \frac{0,7^2}{2 \cdot 0,125} = 1,96 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v = a \cdot t$$

$$F_{VZ} > (F_R + G) \cdot \eta_V$$

$$F_{VZ} > (m_{pm} \cdot a + m_{pm} \cdot g) \cdot \eta_V$$

$$F_{VZ} > m_{pm} \cdot \eta_V \cdot (a + g)$$

$$F_{VZ} > 1,796 \cdot 1,15 \cdot (1,96 + 9,81)$$

$$\underline{\underline{F_{VZ} > 24,3N}}$$

Kde  $F_{VZ}$  je síla potřebná pro zvednutí mechanismu,  $m_{pm}$  je hmotnost zvedaných částí,  $\eta_V$  je součinitel tření ve vedení mechanismu (vedení mechanismu je uloženo ve dvou bronzových kluzných pouzdrech obr. č. 59) a  $g$  je gravitační zrychlení.

Potřebná síla pro zvednutí mechanismu není větší než 24,3N ( $F_{VZ} < 109N$ ) => Současná použitá pístnice BOSCH 0-822-332-506-15 bezpečně splňuje požadavky i po úpravě stroje.

								
	Masivní bronz Univerzální ložisko	Slinutý bronz Rychloběžné ložisko	Svinutý bronzový pás Ložisko pro použití v terénu	Kompozit PTFE Ložisko s dlouhou životností	Kompozit POM Ložisko pro těžká zatížení	Kompozit s nerezovým pouzdrém Hladké a lesklé ložisko	PTFE polyamid Ložisko pro lehké podmínky	Vinutá vlákna Ložisko pro obtížné podmínky
Teplotní rozsah, °C	-40 .. +150	-10 .. +100	-40 .. +150	-200 .. +250	-40 .. +110	-150 .. +150	-30 .. +110	-50 .. +140
Součinitel tření, μ	0,08 .. 0,15	0,05 .. 0,10	0,08 .. 0,15	0,03 .. 0,08	0,04 .. 0,12	0,03 .. 0,08	0,06 .. 0,15	0,03 .. 0,08
Připustné zatížení, N/mm <sup>2</sup> – dynamické – statické	50 140	10 50	40 120	80 250	120 250	80 300	40 80	140 200
Připustná kluzná rychlost, m/s	0,5	0,25 .. 10	1,0	2,0	2,0	1,5	1,0	0,5
Tolerance hřídele	e7 – e8	f7 – f8	e7 – f8	f6 – h7	h7 – h8	g6 – f7	h8 – h9	h7 – h8
Tolerance tělesa	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7
Povrchová drsnost hřídele R <sub>a</sub> , μm	0,8 .. 1,6	0,2 .. 0,8	0,4 .. 0,8	0 .. 0,4	0 .. 0,8	0 .. 0,4	0 .. 0,8	0 .. 0,8
Tvrdost hřídele, HB	190 – 400	200 – 300	150 – 400	300 – 600	150 – 600	300 – 600	100 – 300	200 – 600
Sortiment								
Označení výrobkové řady	PBM PBMF	PBM PBMF	PBM PBMF	PCMF .. B PCM .. B	PCMW .. M PCMB .. M	PI	PPM PPMF	PWM

Obr. č. 59: Kluzná pouzdra SKF [4]

## 6.8 FMEA

Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), neboli analýza projevů a důsledků poruch je velmi užitečnou metodou pro analýzu spolehlivosti. Představuje systematickou kontrolu produktu nebo procesu, jeho funkcí, způsobů a projevů poruch, příčin těchto poruch a jejich následků. V této diplomové práci je rozebrána analýza procesu. Procesní analýza může sloužit jako základ pro zlepšování procesu před, po jeho zahájení i jako základ pro návrh kontroly procesu. [6]

V této práci je rozebrána analýza samotného procesu nanášení těsnící hmoty. Vyplněný formulář analýzy je v této práci formou přílohy č. 1.

## 7. Ekonomické zhodnocení

Cenu výše navrhované úpravy stroje nejvíce ovlivňuje pořizovací cena asynchronního elektromotoru a frekvenčního měniče. Tyto komponenty byly však použity z dříve nerealizovaných projektů. Tímto krokem se ušetřilo poměrně značné množství financí a samotná úprava stroje byla realizována s minimálními náklady.

Není zde brána v potaz cena práce autora této diplomové práce, cena práce elektroservisu, který provedl elektrické zapojení a ani cena práce oddělení údržby.

### 7.1 Fáze prototypu

Tab. č. 3: Náklady na prototyp

Název položky	Množství	Cena bez DPH [Kč]
Tryska $\varnothing$ 0,7mm	1ks	1450
Držák trysky	1ks	360
Hadice tlakového vzduchu $\varnothing$ 6mm	2m	38
Zakládací talíř průměr 75mm	1ks	580
Spojovací materiál		65
<b>Cena celkem bez DPH [Kč]</b>		<b>2493</b>

Ostatní díly pro stavbu prototypu byly vyrobeny autorem této diplomové ze zbytků materiálů, které byly vyřazeny z oddělení údržby.

## 7.2 Fáze finálního stroje

Tab. č. 4: Finální náklady na úpravu stroje

Název položky	Množství	Cena bez DPH [Kč]
Díly použité na prototypu		2523
Al profil 40x40	920mm	322
Výroba ochranného krytu	1ks	420
Al základní deska	1ks	980
Plechový kryt 1	1ks	480
Plechový kryt 2	1ks	340
Držák plexiskla	1ks	220
PA distanční kostka	1ks	380
Držák frekvenčního měniče	1ks	180
Bezpečnostní vypínač	1ks	360
Elektroinstalace		700
Spojovací materiál		124
Zakládací talíř průměr 50mm	1ks	550
Zakládací talíř průměr 85mm	1ks	600
Zakládací talíř průměr 116mm	1ks	700
Zakládací talíř průměr 136mm	1ks	780
<b>Cena celkem bez DPH [Kč]</b>		<b>9659</b>

Rozpočet projektu 40 000 Kč byl bezpečně dodržen. Stroj byl inovován za necelých 25% původně navrhovaného rozpočtu.

## 7.3 Úspora nanesené hmoty

Nejdříve bylo zváženo víčko bez nanesené hmoty. Poté s nanesenou hmotou. Provedeno na 5 kusech a zprůměrováno. Měřeno na víčku o průměru 75 mm.

Tab. č. 5: Úspora nanesené hmoty

	Hmotnost nanesené hmoty [g]
Víčko 75 před úpravou stroje	2,48
Víčko 75 po úpravě stroje	1,93
<b>Úspora nanesené hmoty /1ks</b>	<b>0,55</b>



Časový fond na nanesení jednoho kusu zůstává stejný jako před úpravou stroje. Finanční úspora na jednom cyklu bude tedy pouze materiálová s rozdílem  $-0,55\text{g/ks}$  (kalkulováno pro víčko průměru 75 mm). Cenová úspora činí **0,11 Kč/ks**. Což představuje **5,5% celkové úspory** včetně ceny práce při nanesení hmoty na 1 ks víčka.



## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo inovovat stávající stroj nebo navrhnout jiný princip nanášení těsnící hmoty na hliníková víčka výkonových kondenzátorů. V práci byla stručně představena společnost, ve které se diplomová práce realizovala a její finální výrobek, pro který bude inovovaný stroj používán. Dále byla provedena analýza stroje před inovací, jeho stavu a kvality nanášené hmoty. Na základě analýzy došlo k určení problémů a nedostatků stroje. Se zmíněnými nedostatky se bylo třeba v této diplomové práci vypořádat. Byl vytvořen harmonogram činností projektu, který podpořil splnění úkolů v řádných termínech. Ty byly dodrženy. Poté bylo sepsáno inovační prohlášení, ve kterém byly přesně definovány požadavky a omezení pro tento projekt. Jako další byl proveden průzkum potenciálních řešení a možností.

Na základě výše uvedených realizovaných kroků bylo navrženo 5 reálných variant řešení tohoto problému. Z těchto 5 variant, na základě důležitosti jednotlivých kritérií, pomocí rozhodovací tabulky byla vybrána vítězná varianta řešení.

Tato vítězná varianta, varianta č. 2 spočívala v inovaci původního nanášecího stroje a to změnou řízení stroje, úpravou rotačního mechanismu, změnou konstrukce trysky a úpravou základacích talířů. Toto řešení bylo dále detailně rozpracováno. V konstrukci byla aplikována metoda DFMT z důvodu častého čištění nanášecí hlavičky. Byl proveden kontrolní pevnostní výpočet tlakové nádoby pomocí FEM analýzy, protože s použitím jiné trysky se zvýšil pracovní tlak v nádobě.

Dále následovalo sestavení funkčního prototypu. Prototyp prošel testováním. Tímto prototypem nanášená těsnící hmota byla podrobena heliovému testu. Výsledek byl úspěšný, hodnoty těsnosti testovaných vzorků jsou pod hranicí těsnosti. To je patrné z grafu na obrázku č. 46. Provedené úpravy na nanášecím stroji se značně osvědčily. Dále byla ještě provedena optimalizace tloušťky nanášené vrstvy. Při optimalizaci se našlo takové nastavení stroje, při kterém bylo v heliovém testu dosaženo ještě o řád lepších výsledků těsnosti, což je patrné z grafu na obrázku č. 50. Toto nastavení bylo použito na prvotních zakázkách kondenzátorů. Výrobní kapacita stroje se pohybuje v rozmezí 1350 – 1500 kusů (v závislosti na průměru víčka) za osmihodinovou směnu, což téměř 7x splňuje požadovanou minimální výrobní kapacitu.

Dále byla navržena, namodelována a vytvořena výkresová dokumentace finální podoby nanášecího stroje a to tak, že bylo zachováno co nejvíce komponentů použitých



již na prototypu. Takto navržená podoba stroje bude splňovat parametry z hlediska bezpečnosti práce tak, aby stroj mohl obsluhovat operátor na výrobní lince.

Následně došlo na ekonomické zhodnocení projektu, jak ve fázi prototypu, tak ve fázi finálního stroje. Rozpočet projektu 1 600 € (40 000 Kč) byl vyčerpán pouze z necelých 25%. Inovace přinesla i materiálovou úsporu 0,55 g/ks (při průměru víčka 75 mm), což v tomto případě představuje cenovou úsporu 0,11Kč na jedno nanesené víčko.

Všechny body zadání diplomové práce byly splněny. Inovované zařízení, již nyní ve fázi prototypu odstraňuje všechny původní nedostatky bez výhrad a je schopno plnit sériovou produkci pouze s výhradami k bezpečnosti práce. Tyto výhrady budou odstraněny s realizací v této práci navrhovaných úprav do podoby finálního stroje, tak aby stroj mohl obsluhovat operátor na výrobní lince.



## Použitá literatura

- [1] <http://www.hydra-components.com>
- [2] <http://www.gracedarex.com>
- [3] <http://www.boschrexroth.com>
- [4] <http://www.killich.cz>
- [5] <http://www.skf.com>
- [6] Mašín, I.: *Inovační inženýrství. Plánování a návrh inovovaného výrobku*. TU 2012. ISBN 978-80-7372-852-6
- [7] Pešík, L.: *Části strojů I*. TU 2010, ISBN 978-80-7372-573-0
- [8] Leinveber, J., Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Praha 1999, ISBN 80-7183-164-6



## Seznam příloh

**Příloha č. 1: FMEA procení**

**Příloha č. 2: Výkres sestavy - kusovník**

**Příloha č. 3: Výkres sestavy – základní rozměry**

**Příloha č. 4: Výkres tlakové nádoby**



### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:



### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date:

Signature: